



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ARGAMASSAS COM USO DE  
CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Meise Evelyn Morgenstern

Lajeado, novembro de 2017

Meise Evelyn Morgenstern

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ARGAMASSAS COM USO DE  
CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: M<sup>a</sup> Débora Pedroso Righi

Lajeado, novembro de 2017

Meise Evelyn Morgenstern

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ARGAMASSAS COM USO DE  
CINZA DE CASCA DE ARROZ**

A banca examinadora abaixo, aprova o trabalho de conclusão de curso apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II – TCC II, do curso de graduação bacharel em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Civil.

Profa. Ma. Débora Pedroso Righi - orientadora  
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Me. Ivandro Carlos Rosa  
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Me. Marcelo Freitas Ferreira  
Universidade do Vale do Taquari

Lajeado, 7 de dezembro de 2017

*Dedico esse trabalho a minha família por todo o  
amor do mundo!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter colocado pessoas tão maravilhosas para iluminar o meu caminho e me ajudar a construir todos os meus sonhos: Neiva Valcanover e Carlos Alberto Morgenstern, meus pais, Guilherme Octávio Morgenstern, meu irmão, e Felipe Redecker Landmeier, meu namorado.

Agradeço a minha Orientadora Débora Pedroso Righi por não medir esforços em me ajudar durante a realização de toda essa pesquisa.

Agradeço a toda a equipe do LATEC – Laboratório de Construção Civil da Universidade do Vale do Taquari, por me auxiliarem durante a realização de todos os ensaios.

Agraço a todos os meus amigos e colegas da faculdade, que me incentivaram e apoiaram durante todo esse semestre.

Muito obrigada!

## RESUMO

A utilização de resíduos oriundos de subprodutos de processos industriais tem apresentado resultados significativos quando incorporados a misturas de argamassas e concretos. Seu uso, além de reduzir o consumo de cimento, aumenta a durabilidade e a resistência mecânica das misturas. A casca de arroz é um resíduo agroindustrial que, de acordo com pesquisas, quando moído e queimado sob condições adequadas, gera uma cinza com alto teor de sílica em sua composição, que pode ser substituída parcialmente pelo cimento, como adição pozolânica. O dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), também conhecido como sílica ativa, é uma substância química altamente empregada como pozolana, devido aos benefícios que produz. Essa pesquisa, tem como objetivo realizar a caracterização mecânica de argamassa à base de cinza de casca de arroz, com substituição em volume pelo cimento nas porcentagens de 5%, 10% e 15% e fazer uma comparação com argamassa à base sílica ativa com substituição em volume de 5%, 10% e 15%, afim de se verificar a viabilidade do emprego da cinza da casca de arroz em argamassas. Além disso, foi realizado a moldagem de corpos de prova para um traço referência 1:3 que não possui nenhuma adição. Para isso, elaborou-se um programa experimental dividido em quatro etapas. Na primeira etapa é feita a abordagem dos materiais utilizados. Na segunda etapa foi realizada a dosagem dos materiais. Na etapa 3 são descritos os ensaios a serem realizados, quais sejam: Índice de Consistência conforme a NBR 13276:2016, Resistência à Tração na Flexão e à Compressão seguindo a NBR 13279:2005, Resistência à Compressão Axial conforme a NBR 5738:2008, ensaio de Capilaridade conforme a NBR 15259:2005, Ensaio de Resistência de Aderência utilizando a NBR 13528:2010 e ensaio de Absorção e Índice de Vazios seguindo a NBR 9778:2005. E na quarta e última etapa é feita a análise de resultados, a partir da qual concluiu-se que a utilização de CCA para argamassas de reforço estrutural é viável, pois as resistências mecânicas encontradas foram satisfatórias quando comparadas a outras utilizadas para essa finalidade.

**Palavras – chave:** Argamassa. Cinza da casca de arroz. Pozolana. Sílica Ativa.

## ABSTRACT

An incorporation of residues from by-products of industrial processes where the incorporation of mixtures of mortars and concretes. Its use, in addition to reducing the consumption of cement, increase the durability and the mechanical resistance of the mixtures. Rice husk is an agroindustrial residue that, according to research, when ground and burned under suitable conditions, generates a silica-rich ash in its composition, which can be partially replaced by cement as a pozzolanic addition. Silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ), also known as active silica, is a chemical substance highly employed as pozzolana, due to the benefits it produces. This research aims to perform a mechanical characterization of mortar based on rice hull ash, with volume replacement by cement in percentages of 5%, 10% and 15% and make a comparison with mortar with active silica base with substitution in volume of 5%, 10% and 15%, in order to verify the feasibility of using rice husk in mortars. In addition, a molding of specimens was performed for a 1: 3 reference trace which is not available. Therefore, an experimental program was elaborated divided in four steps. In the first stage it is an approach of the materials used, in the second stage a dosage of the materials was realized. In step 3, the tests are presented, which are: Consistency index according to NBR 13276: 2016, Tensile Strength in Flexion and Compression following NBR 13279: 2005, Resistance to Axial Compression according to NBR 5738: 2008, Capillary test according to NBR 15259: 2005, Adherence Strength Test, use NBR 13528: 2010 and Absorption and Vacuum Index test following NBR 9778: 2005. And in the fourth and last phase of a results analysis. From the analysis of the results, it was concluded that the use of CCA for structural reinforcement mortars is feasible because mechanical resistances were satisfactory when compared to other thin ones for this purpose.

**Keywords:** Mortar. Rice Husk Ash. Pozzolan. Active silica.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Reação Pozolânica.....	13
Figura 2 – Micrografia da Sílica Ativa.....	16
Figura 3 – Casca de Arroz.....	17
Figura 4 – Micrografia da cinza da casca de arroz antes do processo de moagem..	18
Figura 5 – Resultados dos ensaios de compressão nas idades de 7, 28 e 56 dias.....	23
Figura 6 – Fluxograma do Programa Experimental.....	25
Figura 7 - Cimento CPV Itambé.....	26
Figura 8 – Cinza da Casca de Arroz.....	29
Figura 9 - – Sílica Ativa da empresa SILMIX.....	30
Figura 10 - Pesagem e separação dos materiais.....	31
Figura 11 – Ensaio de Consistência.....	32
Figura 12 – Corpos de prova 4x4x16.....	33
Figura 13 – Ruptura à tração.....	34
Figura 14 - Corpos de prova 50mmx100mm.....	35
Figura 15 - Rompimento na compressão axial.....	36
Figura 16 – Ensaio de Capilaridade.....	37



Figura 17 - Equipamento para Reboco do Substrato.....	39
Figura 18 – Substratos de Tijolos Cerâmicos.....	39
Figura 19 - Substrato Cerâmico com os Cortes Ortogonais.....	40
Figura 20 - Realização do ensaio de Arrancamento.....	41
Figura 21 – Fervura dos Corpos de Prova.....	42
Figura 22 – Formas de ruptura no ensaio de aderência a tração para um sistema de revestimento sem chapisco.....	55
Figura 23 – Amostra do ensaio de Resistência de Aderência.....	55

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Resistencia à Tração NBR 13279:2005.....	46
Gráfico 2 – Resistencia à Compressão NBR 13279:2005.....	48
Gráfico 3 – Resultados Compressão Axial NBR 5738:2008.....	49
Gráfico 4 – Resultados de Capilaridade NBR 15259:2005.....	52
Gráfico 5 - Resultados de Resistência de Aderência NBR 13528:2010.....	53
Gráfico 6 - Resultados dos Ensaio de Absorção NBR 9778:2005.....	56
Gráfico 7 - Resultados dos ensaios de índice de Vazios NBR 9778:2005.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da produção em volume de cereais.....	16
Tabela 2 – Composição CP V-ARI.....	27
Tabela 3 – Distribuição granulométrica agregado miúdo.....	27
Tabela 4– Composição química da cinza de casca de arroz.....	28
Tabela 5 - Composição física da cinza de casca de arroz.....	29
Tabela 6 – Composição química da Sílica Ativa.....	30
Tabela 7 – Traços em kg/m <sup>3</sup> .....	31
Tabela 8 – Resultados de Consistência.....	45
Tabela 9 - Limites estabelecidos pela NBR 13749:2013.....	54

## **LISTA DE ABREVIações E SIGLAS**

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCA	Cinza da Casca de Arroz
CCA5	Traço com substituição de cinza de casca de arroz em 5%
CCA10	Traço com substituição de cinza de casca de arroz em 10%
CCA15	Traço com substituição de cinza de casca de arroz em 15%
CP	Corpo de Prova
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SA	Sílica Ativa
SA5	Traço com substituição de sílica ativa em 5%
SA10	Traço com substituição em sílica ativa em 10%
SA15	Traço com substituição de sílica ativa em 15%

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Estrutura e organização do trabalho .....</b>	<b>9</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Adições Minerais.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Materiais pozolânicos: histórico.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1 Definição de Pozolana .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1 Reação pozolânica .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2 Classificação das pozolanas.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.3 Sílica Ativa .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Arroz.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Cinza da casca de arroz.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1 Tempo de queima.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 Grau de moagem da CCA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 Incorporação de CCA em misturas de argamassa.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Argamassa como material de reforço estrutural .....</b>	<b>21</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Materiais.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.2 Cimento Portland .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.3. Agregado miúdo .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.4 Água de Amassamento.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.5 Cinza da casca de arroz.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.6 Sílica Ativa .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Dosagem .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3 Ensaios no estado fresco .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.1 Consistência - NBR 13276:2016 .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 Ensaios no estado endurecido .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.1 Resistência à Tração na Flexão e à Compressão – NBR 13279:2005.....</b>	<b>33</b>

3.4.2 Resistencia à compressão axial NBR 5738:2008 .....	34
3.4.3 Capilaridade NBR 15259:2005 .....	36
3.4.4 Ensaio de Resistência de Aderência NBR 13528:2010 .....	38
3.5 Absorção e Índice de Vazios NBR 9778:2005 .....	42
 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	44
4.1 Ensaios no estado fresco .....	44
4.1.2 Ensaio de Consistência NBR 13276:2016 .....	44
4.2 Ensaios no estado endurecido .....	46
4.2.1 Ensaio de Resistencia à Tração na Flexão e à Compressão NBR 13279:2005 .....	46
4.2.2 Ensaio de Resistencia à Compressão Axial NBR 5738:2008.....	49
4.2.3 Ensaio de Capilaridade NBR 15259:2005 .....	51
4.2.4 Ensaio de Arrancamento NBR 13528:2010 .....	53
4.2.5 Ensaio de Absorção e Índice de Vazios NBR 9778:2005 .....	56
 5 CONCLUSÕES .....	59
 REFERÊNCIAS.....	62
 APÊNDICES .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Lima *et al.*, (2008), a reciclagem de resíduos agroindustriais para uso na construção civil é uma alternativa para diversificar a matéria prima e os subprodutos, contribuindo para a preservação do meio ambiente.

Atualmente é grande a preocupação com a destinação final de diversos resíduos, que acabam por poluir o solo e ocasionar problemas ambientais quando depositados em locais inadequados. Destaca-se entre eles, a sílica presente nas cinzas oriundas da queima da casca de arroz, uma vez que a mesma possui um elevado potencial de atividade pozolânica, que atuam com mudanças positivas em compósitos nos quais é adicionada (ERHART,2014).

Além disso, estudos de Karim *et al.*, (2011) afirmam que o cimento Portland é o segundo material mais utilizado no mundo e um dos maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub>. Devido a esses problemas, com objetivo de minimizar os impactos negativos, tem se buscado alternativas para substituição parcial de cimento Portland em misturas cimentícias.

Diversas são as pesquisas como as de Tashima (2006), Souza (2008), Cordeiro (2009) e Bezerra (2010), que estudam as propriedades da cinza da casca de arroz em argamassas e concretos e suas diferentes aplicabilidades. Bezerra (2010), ao substituir parcialmente o cimento Portland pela cinza da casca de arroz

em argamassas de assentamento e revestimento, obteve um bom comportamento mecânico das misturas.

Erhart (2014), por sua vez, estudou a influência de chapiscos com adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas em substratos cerâmicos com diferentes porosidades. Tashima (2006) analisou o desempenho de pastas de cimento com substituição de 5%, 10% e 15% do peso do cimento por cinza da casca de arroz e sílica ativa. Cordeiro (2009) avaliou a pozolanicidade de argamassas com substituição de 35% do volume absoluto de cimento por cinza da casca de arroz. Para Silva (2004), além de melhorar a resistência mecânica de pastas cimentícias, a cinza da casca de arroz reduz a permeabilidade e a porosidade das misturas.

Nesse contexto, essa pesquisa tem o intuito de realizar a caracterização mecânica de argamassas à base de cinza de casca de arroz e argamassas de sílica ativa, para efeito de comparação, e verificar seu emprego em argamassas de reforço estrutural.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Analisar o comportamento mecânico de argamassas com substituição parcial de Cimento Portland por Cinza da Casca de Arroz com o intuito de utilizar a essa argamassa como uma argamassa de reforço estrutural;

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Avaliar o resultado da incorporação de diferentes teores (5%, 10% e 15%) de substituição em peso de cinza de casca de arroz e sílica ativa em relação ao cimento;

- Verificar o comportamento das argamassas, no estado fresco, através do ensaio de consistência;



- Analisar o comportamento das argamassas, no estado endurecido, através do ensaio de compressão axial, ensaio de tração na compressão, ensaio de capilaridade, ensaio de arrancamento e ensaio de absorção e índice de vazios.

## **1.2 Justificativa**

Nos dias de hoje é grande a procura por matérias-primas alternativas para incorporar a misturas de argamassas e concretos em substituição parcial ao cimento Portland, um dos maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub> no mundo. Os resíduos agroindustriais têm sido altamente empregados, pois acabam tendo uma destinação final adequada, diminuindo, assim, a poluição do meio ambiente (LIMA *et al.*, 2008).

Sabe-se que a produção do arroz é amplamente difundida no Brasil. São produzidas toneladas de grãos a cada ano. Através de pesquisas, constatou que suas cascas, quando passam por processos de combustão com temperaturas controladas e moagem, geram uma cinza com propriedades pozolânicas, devido à sílica presente em sua composição. As pozolanas são adições que podem ser feitas a misturas de concreto e argamassas convencionais, pois contribuem para o aumento de resistência a compressão, diminuem a permeabilidade e melhoram a durabilidade do concreto (TASHIMA, 2006).

Diante disso, pretende-se incorporar a cinza de casca de arroz em substituição parcial ao cimento em misturas de argamassas, fazendo a caracterização mecânica das mesmas e, para efeito de comparação, realizar a caracterização de argamassas à base de sílica ativa, verificando seu possível uso para reforço estrutural.

## **1.3 Estrutura e organização do trabalho**

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro são apresentados os objetivos, geral e específicos, a justificativa para realização do trabalho e uma introdução sobre o tema e os assuntos que serão discutidos.

O capítulo dois é o referencial teórico do trabalho, nele são apresentadas as referências bibliográficas pertinentes ao tema que serviram de base para a realização dessa pesquisa.

O capítulo três apresenta o programa experimental adotado, com todos os procedimentos e materiais adotados durante a realização dos ensaios.

O capítulo quatro apresenta os resultados encontrados por meio da realização dos ensaios descritos no programa experimental.

Por fim, o capítulo cinco que é o fechamento da pesquisa, nele estão contidas as conclusões finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Adições Minerais

Definem-se as adições minerais como materiais orgânicos, de finura igual ou menor que a do cimento, que são acrescentadas às argamassas e aos concretos para melhorar propriedades e atribuir características especiais às misturas, como aumento de resistência mecânica ou durabilidade (DUART, 2008).

Conforme Duart (2008) há três tipos de adições minerais:

- a) Inertes: são adições que não apresentam nenhuma reação química significativa à mistura. Como exemplo, pode-se citar o filler calcário.
- b) Hidráulicas: são adições que reagem na presença de água, como a escória de alto forno.
- c) Pozolanas: são adições que reagem na presença de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH}_2\text{)}$ ), como é o caso da sílica ativa (SA) e da cinza da casca de arroz (CCA).

A maior parte das adições minerais são subprodutos de processos industriais. Seu reaproveitamento para estes fins, evita que esses materiais sejam descartados de formas inadequadas e poluam o meio ambiente.

## 2.2 Materiais pozolânicos: histórico

O uso de materiais pozolânicos na construção civil é bastante antigo. Ao analisarmos o ciclo evolutivo das construções, verificamos que as práticas de diferentes povos, como babilônicos, egípcios e gregos, fizeram o uso de materiais com tais características.

Segundo Tashima (2006) o método construtivo com pozolanas naturais misturadas com cal se difundiu por toda a Europa até o século XVII. Entretanto, após a descoberta do cimento Portland, em 1824, por Joseph Aspdin, que o batizou com esse nome em referência a Portlandstone, um tipo de pedra arenosa, houve uma verdadeira revolução na construção, que se estendeu ao longo dos anos.

Karim *et al.* (2011) afirmam que o cimento Portland é o segundo material mais utilizado no mundo e o um dos maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub>. Hoje, sabemos que a emissão de CO<sub>2</sub> é uma das principais causas do efeito estufa. Diante disso, e com objetivo de preservar as jazidas de argila de calcário – matérias primas da produção do clínquer empregado na fabricação de cimentos –, a busca por materiais ecologicamente apropriados se tornou fundamental.

Os materiais pozolânicos vêm sendo utilizados em substituição parcial ao clínquer por diversas indústrias cimenteiras. Esses materiais são adições oriundas de diferentes setores industriais, originando o que chamamos de cimentos pozolânicos. Através de pesquisas, constatou-se que as pozolanas também podem ser empregadas durante a produção de argamassas e concretos, pois esses materiais intervêm nas propriedades de resistência, permeabilidade e na durabilidade das misturas cimentícias (TASHIMA, 2006).

### 2.2.1 Definição de Pozolana

A Norma Brasileira Regulamentadora NBR 12653:2014 – Materiais Pozolânicos, define estes materiais como:

Materiais silicosos ou sílico-aluminosos que por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura

ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes (NBR 12653, ABNT- 2014).

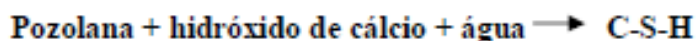
Os materiais classificados como pozolanas apresentam sílica ( $\text{SiO}_2$ ) em sua composição, a qual, quando moída e em contato com cal, atua como ligante hidráulico. Para que reajam nas misturas, é preciso que sejam moídas com finura na ordem de  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$  (FUSCO 2008).

### 2.2.1 Reação pozolânica

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o contato do cimento com a água provoca o processo de hidratação dos seus componentes, notadamente o silicato de tricálcico ( $\text{C}_3\text{S}$ ) e silicato dicálcico ( $\text{C}_2\text{S}$ ), os quais liberam hidróxido de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH}_2)$  em elevada quantidade, equivalendo a 25% dos compostos hidratados.

A sílica amorfa ( $\text{SiO}_2$ ) existente nas pozolanas, reage com os hidróxidos de cálcio, formando silicatos de cálcio hidratados (C-S-H). A essa reação, dá-se o nome de reação pozolânica. Para que ocorra essa reação, é preciso que a sílica não esteja com alto grau de cristalinidade (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

Figura 1 – Reação pozolânica



Fonte: Mehta e Monteiro, 2014

A Atividade pozolânica de novos materiais pode ser detectada seguindo as especificações da NBR 5252:2014 – Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com Cimento Portland aos 28 dias.

Conforma a norma, no caso de novos materiais, a amostra deve ser moída até que o resíduo retido na peneira, cuja malha deve ter abertura de  $45 \mu\text{m}$ , seja inferior a 20%, preferencialmente entre 10% e 15%. Para execução do ensaio, deve-

se utilizar cimento CII -F- 32, areia, água e 25% de pozzolana, devendo ser dosados dois tipos de argamassa, para efeito de comparação.

Dosados os materiais, deve-se moldar os corpos de prova e obedecer às condições de cura, conforme especificado na norma. Por fim, com os resultados obtidos, calcula-se a média da resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos e o desvio máximo. Deve-se determinar o desempenho do Cimento Portland aos 28 dias, através da Equação 1, que é fornecida pela norma regulamentadora NBR 5252:2014 – Materiais pozzolânicos – Determinação do índice de desempenho com Cimento Portland aos 28 dias.

$$I_{\text{cimento}} = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

- a)  $f_{cB}$  é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados com cimento e 25% de material pozzolânico;
- b)  $f_{cA}$  é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados apenas com Cimento Portland.

### 2.2.2 Classificação das pozzolanas

De acordo com a NBR 12653:2014 - Materiais pozzolânicos — Requisitos, os materiais pozzolânicos são classificados em três grupos:

- a) Classe N: Fazem parte desse grupo as pozzolanas de origem natural e artificial, como certos materiais vulcânicos de caráter ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas;
- b) Classe C: Fazem parte desse grupo a cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoeletricas;

c) Classe E: Qualquer pozolana cujos requisitos diferem das outras duas classes citadas anteriormente.

A norma anteriormente referenciada, não menciona as pozolanas altamente reativas, como a Cinza da Casca de Arroz.

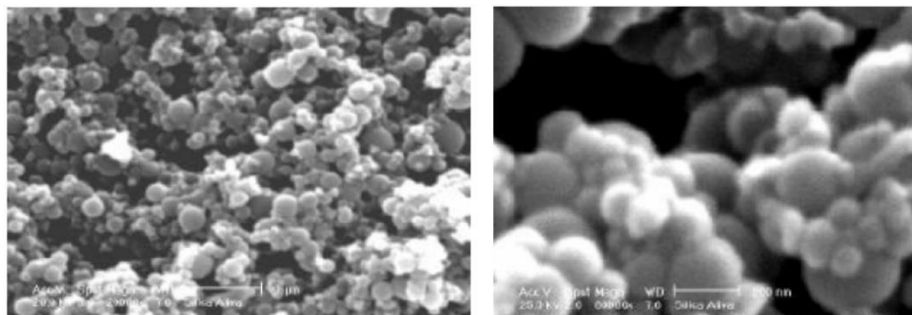
As pozolanas naturais são provenientes de rochas ou minerais vulcânicos, que passam por diversos processos até chegar ao produto final. As erupções vulcânicas sofrem um resfriamento bruto quando na atmosfera, formando, conseqüentemente, uma substância com elevado caráter vítreo ou amorfo. Para tornar-se pozolana, o material precisa ser britado, moído, classificado e, na maior parte das vezes, ser termicamente ativado (CORDEIRO, 2009).

As pozolanas artificiais são definidas como os materiais sem destinação final e subprodutos de indústrias agrícolas, de diversas origens, equiparando-se por possuir atividade pozolânica. As mais empregadas na construção civil são as escórias de alto forno, as cinzas volantes provenientes de centrais termoelétricas e a sílica ativa, resíduo de indústrias siderúrgicas (TASHIMA, 2006).

### **2.2.3 Sílica Ativa**

O dióxido de silício  $SiO_2$ , também chamado de sílica, é um composto químico formado pela união de duas moléculas de oxigênio e uma de silício. A sílica ativa, em geral, possui na sua composição mais de 85% de  $SiO_2$  e suas propriedades químicas variam conforme seu grau de pureza. A micrografia da Sílica Ativa é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Micrografia da Sílica Ativa



Fonte: Kulakowski (2002) e Martins (2009)

Trata-se de um material muito fino, sua área específica está na ordem de 20.000 m<sup>2</sup>/kg. Na natureza, pode ser encontrada em três tipos: pura, hidratada ou mineral (DELLA, 2001).

No estado amorfo, é um material altamente reativo. A sílica mineral é base para fabricação de materiais cerâmicos, vidros, isolantes térmicos e abrasivos. Na construção civil, é utilizada sob forma de areia para fabricação de concretos e argamassas. Outro uso conhecido é o da sílica ativa como adição mineral na confecção de concretos convencionais e de alto desempenho (POUEY, 2006).

## 2.3 Arroz

A terceira estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) aponta que a safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas totalizou 230,3 milhões de toneladas, 25,1% superior à obtida em 2016. O arroz está entre os três principais produtos de produção agrícola no Brasil. A Tabela 1 apresenta a produção distribuídas pelas regiões do Brasil.

Tabela 1 – Distribuição da produção em volume de cereais

Região	Produção 2016 (t)	Produção 2017(t)	Variação (%)
<b>Brasil</b>	184.038.284	<b>230.292.847</b>	25,1
Centro-Oeste	75.096.698	99.084.284	31,9



<b>Sul</b>	73.032.261	<b>83.082.221</b>	13,8
Sudeste	19.649.723	21.781.945	10,9
Nordeste	9.535.939	18.028.606	89,1
Norte	6.723.662	8.315.789	23,7

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2017

Devido à alta produção mundial do arroz, há um grande volume de casca gerado. A casca do arroz pode ser definida como uma capa protetora formada durante o crescimento do grão, possuindo baixa densidade e grande volume. É constituída basicamente de celulose (50%), lignina (30%), em peso, e de sílica, na forma amorfa hidratada (HOUSTON, 1972 apud POULEY, 2006).

A casca de arroz pode ser vista na Figura 3.

Figura 3 – Casca de arroz



Fonte: Universoagro (2012)

Segundo Ferreira (1999), a casca do arroz é retirada durante o processo de refinação e, devido ao fato de sua composição ser basicamente de  $\text{SiO}_2$  e fibras, não possui valor nutritivo para a alimentação humana ou animal, tornando sua comercialização de baixo custo.

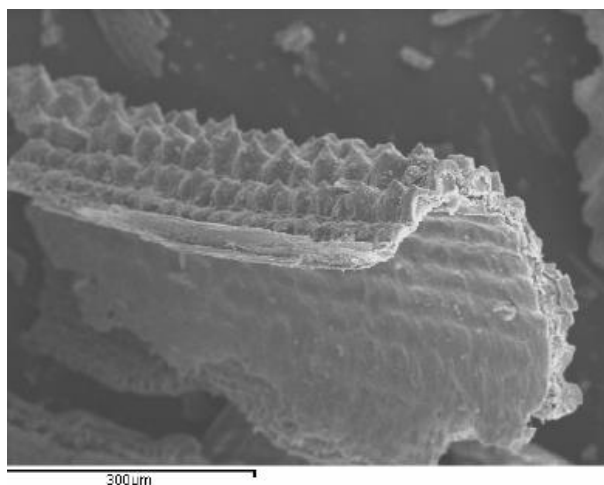
Atualmente, as indústrias brasileiras produtoras de arroz utilizam as cascas da produção para finalidades de combustível de secagem e parboilização do cereal. Entretanto, ainda há sobras, que, sem destinação adequada, são depositadas em

locais inadequados (PRUDÊNCIO JR. *et al.* 2003). No Brasil, devido à alta produção de arroz, esse resíduo poderia ser aproveitado pela indústria da construção civil.

## 2.4 Cinza da casca de arroz

A cinza da casca de arroz, quando moída sob certo grau de finura e queimada sob condições adequadas e controle de temperatura, gera uma pozolana com elevado grau de sílica ativa em sua composição. Hoje é estudada por diversos pesquisadores, como: Prudêncio Jr., Santos e Dáfico (2003) e Mehta e Monteiro (2014).

Figura 4 – Micrografia da cinza da casca de arroz antes do processo de moagem



Fonte: Tashima (2006)

As colorações das cinzas podem variar entre um branco rosado até negro, o que é ocasionado pelo teor de carbono contido na cinza e, mesmo que sejam utilizados diferentes processos de queima durante seu processamento, o teor de sílica da sua composição fica na ordem de 74% a 97% (TASHIMA, 2006).

Conforme Mehta e Monteiro (2014), substituir parcialmente o Cimento Portland por pozolanas, acelera o início das reações de hidratação dos compostos

do cimento, o que gera a liberação de uma maior quantidade de cal e auxilia na formação de mais produtos de hidratação, influenciando nas características de resistência mecânica, ataques químicos e reações expansivas de argamassa e concretos no estado endurecido.

### **2.3.1 Tempo de queima**

O processo utilizado na queima da casca do arroz (parâmetros de temperatura e tempo) e na moagem, determina o teor de sílica amorfa que estará presente em sua estrutura. Pereira *et al.* (2015), afirmam que:

A temperatura de queima da cinza é um fator muito importante para determinar a morfologia da cinza da casca do arroz. A atividade pozolânica da CCA está diretamente relacionada à composição morfológica como também ao tempo de moagem desta cinza. A CCA quando produzida a partir de queima controlada, com temperatura inferior a 600°C possui na sua morfologia a presença de sílica no estado amorfo, obtendo desta forma maior reatividade com o cimento e com a cal. Quando queimada a temperaturas muito elevadas, observa-se o surgimento de fases cristalinas na estrutura morfológica, diminuindo desta forma a reatividade com outros componentes, sendo desta forma inviável para utilização em concretos e argamassas. (PEREIRA, *et al.*, 2015).

De acordo com Cordeiro (2009), o tipo de forno utilizado na queima também influencia na cinza que será gerada. Um forno comum, se comparado a um do tipo fluidizado, é menos vantajoso, pois um fluidizado possui inexistência de gradientes de temperatura, de regiões estagnadas e outras ativas. Cordeiro (2009), também constatou que a queima sem controle da casca do arroz, gera uma CCA rica em sílica na forma cristalina. Já com a queima controlada, a sílica pode ser amorfa, diferenciada por ter uma alta reatividade.

### **3.2 Grau de moagem da CCA**

O grau de moagem é outro fator que influencia diretamente das características das cinzas. Após serem queimadas, as cinzas possuem dimensões semelhantes às das cascas, razão pela qual, precisam passar por um processo para

adquirir finura apropriada para serem adicionadas a misturas de concreto e argamassas (CORDEIRO, 2009).

A CCA quando reduzida a um pó fino e em presença de água, reage com íons  $Ca^{+2}$  para formar silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), que também são produzidos nas reações de hidratação do cimento Portland, sendo o hidróxido de cálcio, principal fonte de cálcio para as reações pozolânicas (CORDEIRO, 2009). Essa qualidade das cinzas de reagir com o hidróxido de cálcio é influenciada por diversos fatores, entre eles, o tempo de moagem.

Conforme Prudêncio Jr *et al.* (2003), o tempo de moagem e o grau de propriedades pozolânicas das cinzas são diretamente proporcionais, haja vista que o tamanho das partículas diminui. Entretanto, realizar a moagem por muito tempo, dificulta a dispersão das partículas na argamassa, por terem grau de finura elevado.

Os estudos de Prudêncio Jr. *et al.* (2003) mostraram que o índice de atividade pozolânica das cinzas aumenta até o limite de quatro horas de moagem. Após esse período há um decréscimo, apesar de continuar ocorrendo um aumento da superfície específica. Esse comportamento pode ocorrer devido ao fato que, com a superfície maior, o grau de dificuldade da disseminação das cinzas na argamassa aumenta.

## **2.4 Incorporação de CCA em misturas de argamassa**

A cinza da casca de arroz, é um tipo de pozolana, que conforme mencionado, apresenta bons resultados em diversas aplicações, notadamente em argamassas e concretos.

Bezerra *et al.* (2011) estudaram o uso de CCA para argamassa de assentamento. A CCA utilizada não possuía controle de queima e foi substituída pelo cimento em 6%, 9%, 15%, 20% e 30%, em substituição parcial ao cimento. Obtiveram resultados de resistência superiores para todos os períodos de cura para todos os valores de CCA superior ao traço referência, exceto ao de 6%. A Argamassa que apresentou melhor comportamento mecânico foi a com adição de 15% de CCA.

Tashima (2006) analisou o desempenho de pastas de cimento com substituição de 5%, 10% e 15% do peso do cimento por cinza da casca de arroz e sílica ativa. Analisando os resultados, observou que as argamassas de CCA apresentaram resistência à flexão superior as argamassas com SA. Em relação a resistência a compressão, concluiu que o ganho de resistência era diretamente proporcional ao aumento de substituição do cimento pela adição de CCA ou AS, o que pode ser explicado na medida em que o material pozzolânico atua como filler, diminuindo o tamanho dos poros e aumentando a resistência das argamassas.

Cordeiro (2009) avaliou a pozzolanicidade de argamassas com substituição de 35% do volume absoluto de cimento por cinza da casca de arroz. O índice de atividade pozzolânica com o cimento é dado pela resistência a compressão média das argamassas. Como resultado, constatou que, a resistência média apresentada pelas argamassas aos 28 dias foi de 28,69 Mpa.

Erhart (2014) estudou a influência do chapisco com adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassa em substratos cerâmicos com diferentes porosidades, substituindo o cimento por 0%, 5% e 10% de CCA e, constatou que a cinza contribui para a diminuição da resistência de aderência em substratos cerâmicos e aumenta a resistência de aderência à tração dos chapiscos.

## **2.5 Argamassa como material de reforço estrutural**

Atualmente, o concreto é o material mais utilizado pela construção civil brasileira. Apesar de comprovada sua durabilidade, podem ocorrer falhas de projeto ou até mesmo erros durante a execução, ocasionados pela má utilização da estrutura, corrosão da armadura (SOTO, 2013).

Para corrigir esses problemas, diversos autores vêm estudando técnicas de reforço estrutural para elementos de concreto. Independente da técnica utilizada, é preciso que o sistema funcione de forma integrada, de maneira que, para que isso seja alcançado, é necessário que exista aderência adequada entre o elemento de concreto e o reforço (Campagnolo *et al.* 1999).

Santarosa *et al.* (2002) utilizaram reforço de mantas flexíveis de fibra de carbono em pilares curtos de concreto confinados e obtiveram resultados significativos, sobretudo para fibras com orientação transversal ao eixo longitudinal das peças.

Souza *et al.* (2002) reforçaram pilares de concreto de seção quadrada com mantas de polímero e fibras de carbono. Como resultados, encontraram aumento de 40% a 51% de resistência nos elementos.

Dal Molin *et al.* (2008) utilizaram sílica ativa como adição em argamassa para reforço estrutural. Esse material foi escolhido por apresentar algumas vantagens como o baixo custo e fácil execução, podendo ser colocada na mistura no canteiro de obras por um pedreiro profissional, desde que orientado e fiscalizado. Em seu programa experimental, desenvolveram seis protótipos de seção transversal de 12cmx12cm e comprimento de 70cm e reforçaram três com 2,5cm de argamassa em todas as faces. O cimento utilizado foi o CPV-ARI.

Como resultado, encontraram que os pilares reforçados com argamassa de sílica ativa apresentaram carga média 72% superior a carga experimental média obtida pelos protótipos testemunhos. Os maiores benefícios foram em relação a durabilidade, porosidade e permeabilidade a agentes agressivos. As propriedades mecânicas das argamassas com adição de sílica ativa não se destacaram.

Figura 5 – Resultados dos ensaios de compressão nas idades de 7, 28 e 56 dias

Idade - 7					
CP	Carga (kN)	Resistência (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. Var. (%)
01	157,0	22,1	23,8	1,5	6,5
02	171,5	24,2			
03	178,5	25,5			
Idade - 28					
CP	Carga (kN)	Resistência (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. Var. (%)
04	208,0	29,3	31,6	2,0	6,3
05	230,0	32,4			
06	234,5	33,1			
Idade - 56					
CP	Carga (kN)	Resistência (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. Var. (%)
07	226,5	32,0	33,2	1,1	3,2
08	230,0	32,4			
09	234,5	33,1			
10	235,5	33,2			
11	237	33,4			
12	248,5	35,1			

Tabela 1 - Resultados dos ensaios à compressão dos corpos-de-prova de controle do concreto

Fonte: Dal Molin *et al.* (2008)

Devido às características apresentadas pela CCA, acredita-se que, por assemelhar-se à sílica ativa, a cinza poderia ser empregada em argamassa para reforço estrutural de pilares de concreto, submetidos a esforços de compressão simples.

Os pilares são elementos estruturais que podem vir a apresentar patologias ocasionadas por má execução ou mesmo por erros de projeto, necessitando assim, de reforços estruturais para suportar as solicitações.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos que foram utilizados no desenvolvimento dessa pesquisa. O programa experimental adotado foi dividido em quatro etapas. Inicialmente, foram descritos os materiais utilizados, sendo eles: Cimento Portland CPV-ARI, Areia Média, Cinza da Casca de Arroz e Sílica Ativa.

Na segunda etapa, foi realizada a dosagem dos traços da argamassa, substituindo o Cimento Portland CPV por cinza da casca de arroz com controle de queima em 5%, 10% e 15% e por sílica ativa em 5%, 10% e 15%.

Na terceira etapa, foram realizados os ensaios no estado fresco, para verificar a Consistência.

Na quarta e última etapa, foram feitos os ensaios no estado endurecido, sendo eles: resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e a compressão, arrancamento, capilaridade e absorção e índice de vazios. Para melhor apresentá-los, elaborou-se um fluxograma do programa experimental que é apresentado na Figura 6.

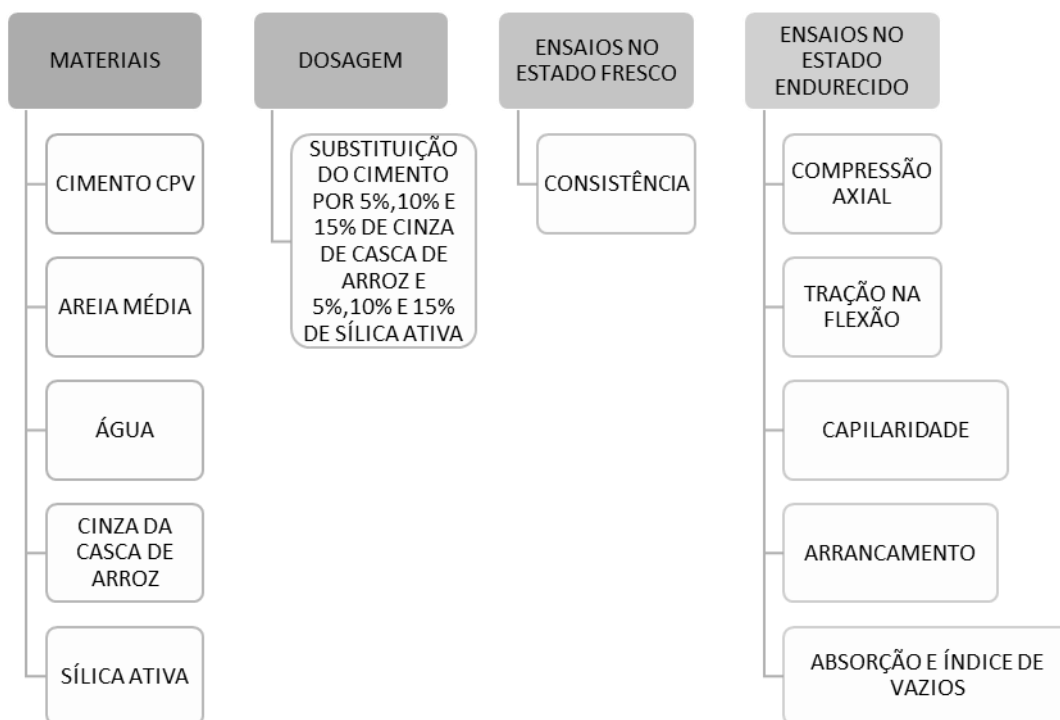
Adotou-se uma nomenclatura para os traços utilizados nessa pesquisa, sendo eles:

- a) Traço Argamassa Referência = REF
- b) Traço Argamassa com 5% de CCA = CCA5
- c) Traço Argamassa com 10% de CCA = CCA10
- d) Traço Argamassa com 15% de CCA = CCA15



- e) Traço Argamassa com 5% de AS =SA5
- f) Traço Argamassa com 10% de AS= SA10
- g) Traço Argamassa com 15% de AS = SA15

Figura 6 - Fluxograma do Programa experimental



Fonte: da autora, 2017

### 3.1 Materiais

São descritos abaixo os materiais empregados na realização desta pesquisa. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologias da Construção – LATEC da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, localizado na cidade de Lajeado – RS.

### 3.1.2 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado nos ensaios foi o CP V-ARI, de alta resistência inicial, produzido pela empresa nacional Itambé. A imagem do cimento é apresentada na Figura 7.

Figura 7 – Cimento CPV Itambé



Fonte: da autora, 2017

Adotou-se este produto por ser, dentre os disponíveis no mercado, aquele que contém menos adições, para assim melhor analisar a reação pozolânica que a CCA pode realizar nas argamassas (ABCP, 2002). O cimento foi selecionado através das determinações da NBR 5733:1991 ABNT. A composição química do cimento é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição CP V-ARI

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínque + gesso	Material carbonático	
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	0-5	NBR 5733

Fonte: ABCP, 2002

### 3.1.3. Agregado miúdo

A areia média utilizada na mistura é de origem natural do município de Lajeado/RS e foi fornecida pelo Laboratório de Tecnologias da Construção – LATEC da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. Para evitar que a umidade contida interfira nos resultados, a areia foi coletada e submetida ao processo de secagem em estufa com temperaturas que variam na faixa de 105°C e 110°C, durante o período de 15 a 20 horas.

O ensaio de granulometria do agregado miúdo foi realizado seguindo os preceitos da NBR 7225:1993 - Materiais de Pedra e Agregados Naturais, conforme a distribuição granulométrica da Tabela 3.

Tabela 3 – Distribuição granulométrica agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT 3310-1)	Porcentagem em massa retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5mm	0	0	0	0
6,3mm	0	0	0	7
4,75mm	0	0	5	10
2,36mm	0	10	20	25
1,18mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	95	95	100

Fonte: ABNT NBR 7211:2005

### 3.1.4 Água de Amassamento

A água que foi utilizada na mistura é fornecida pela CORSAN, que abastece o Laboratório de Tecnologia da Construção – LATEC da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES.

De acordo com a ABNT NBR 15900:2009 - Água Para Amassamento do Concreto, a água de abastecimento público é considerada adequada para o uso em misturas de concreto, não havendo a necessidade de se fazer nenhum ensaio.

### 3.1.5 Cinza da casca de arroz

A cinza da casca de arroz oriunda da queima com temperatura controlada empregada nesta pesquisa, foi fornecida pela empresa Pillecco Nobre, localizada na cidade de Alegrete/RS. A empresa fornece a composição química e composição física da cinza que são apresentadas na Tabela 4 e Tabela 5. Conforme os dados apresentados pela empresa, a cinza possui teor de  $\text{SiO}_2$  superior a 90% em sua composição e massa específica de  $2,16\text{g/cm}^3$ .

Tabela 4 – Composição química da cinza de casca de arroz

$\text{SiO}_2$	90,67 %
$\text{K}_2\text{O}$	2,17 %
$\text{CaO}$	1,12 %
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,58 %
$\text{SO}_3$	0,28 %
$\text{Cl}$	0,22 %
$\text{MnO}$	0,19 %
$\text{MgO}$	0,18 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,14 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,11 %
$\text{Rb}_2\text{O}$	0,01 %
Perda ao Fogo	4,32 %

Fonte: Pilecco Nobre, 2012

Tabela 5 – Composição física da cinza de casca de arroz

Perda ao fogo (%)	< 5
Umidade (%)	< 3
Ph	entre 8 e 10
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,16
Resíduo em peneira #325	< 5%
Teor de SiO <sub>2</sub>	> 90%
Ensaio CTAB(m <sup>2</sup> /g)	10 à 12
Superfície específica BET (m <sup>2</sup> /g)	15 à 20 m <sup>2</sup> /g

Fonte: Pilecco Nobre,2012

A cinza da casca de arroz pode ser vista na Figura 8.

Figura 8 – Cinza da casca de arroz



Fonte: da autora, 2017

### 3.1.6 Sílica Ativa

A Sílica ativa utilizada nesse trabalho é um material disponível no mercado brasileiro da marca SILMIX, fabricada pela Camargo Corrêa Metais S/A. A composição química desse material é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Composição química da Sílica Ativa

Substância	Cas <sup>(1)</sup>	Composição química (%)	OSHA-PEL-TWA <sup>(12)</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	ACGIH-TLV-TWA <sup>(3)</sup> (mg/m <sup>3</sup> )
Sílica Amorfa (SiO <sub>2</sub> )	69012-64-2	≥85,0	-	2
Sílica Cristalina (SiO <sub>2</sub> )	14808-60-7	≤0,5	3	0,05
Óxido de Sódio (Na <sub>2</sub> O)	1313-59-3	≤1,5	-	-
Carbono Total ©	1333-86-4	≤6,0	3,5	3,5
Umidade (H <sub>2</sub> O)	-	≤3,0	-	-

(1) Cas: Chemical Abstract Service Registry Number

(2) OSHA-PEL: Occupational Safety & Health Administration –Permissible Exposure Limits

(3) ACGIH –TLV-TWA: American Conference Of Governmental Industrial Hygienists-Threshold Limit Value- Time Weighted Average exposure concentration for a conventional 8-hour (TVL, PEL) workday and a 40-hour workweek.

Adaptado de: Empresa SilMix (2012, p.1)

Conforme os dados fornecidos, a Sílica Ativa possui em sua composição SiO<sub>2</sub> (amorfa) presente na faixa de 85% e Sílica Cristalina inferior ou igual a 0,5%. A Sílica ativa da empresa SILMIX é apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Sílica Ativa da empresa SILMIX



Fonte: da autora, 2017

### 3.2 Dosagem

O traço adotado para a argamassa REF foi de 1:3 (cimento:areia), por ser um traço comum utilizado nas obras da região. A dosagem dos materiais (em quilogramas por metro cúbico) para cada traço é apresentada na Tabela 7. Optou-se por adotar as idades de ruptura de 7 dias, 28 dias e 56 dias.

Tabela 7 – Traços em kg/m<sup>3</sup>

TRAÇO	CIMENTO	AREIA	CCA	SA	ÁGUA
REF	3101,64	9304,92	-	-	1550,82
CCA5	3682,83	11629,99	193,83		1938,33
CCA10	3446,13	10338,39	344,61	-	1723,07
CCA15	3648,77	10946,31	547,31	-	1824,38
SA5	3682,83	11629,99	-	193,83	1938,33
SA10	3446,13	10338,39	-	344,61	1723,07
SA15	3648,77	10946,31	-	547,31	1824,38

Fonte: da autora, 2017

A Figura 10 apresenta os materiais durante a pesagem.

Figura 10 – Pesagem e separação dos materiais



Fonte: da autora, 2017

### 3.3 Ensaios no estado fresco

#### 3.3.1 Consistência - NBR 13276:2016

Para a realização deste ensaio seguiu os preceitos da norma NBR 13276:2016 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da Mistura e Determinação do índice de Consistência.

O ensaio consiste em preencher o molde tronco cônico colocado no centro da mesa para índice de consistência. Deve-se preencher o molde em três camadas sucessivas, de altura aproximadamente iguais e aplicar em cada uma delas, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, com objetivo de distribuí-las uniformemente.

Faz-se o rasamento da argamassa com o auxílio de uma régua metálica e adiciona-se então a manivela da mesa, de modo que, suba e caia 30 vezes. Imediatamente após a queda, deve-se realizar em três diâmetros pares de pontos uniformes a medição ao longo do perímetro. Conforme estabelecido pela norma, a consistência deve ficar compreendida entre  $(225 \pm 5)$  mm.

A Figura 11 apresenta a argamassa na mesa de índice de consistência durante a realização do ensaio.

Figura 11 – Ensaio de consistência



Fonte: da autora, 2017



### 3.4 Ensaios no estado endurecido

#### 3.4.1 Resistência à Tração na Flexão e à Compressão – NBR 13279:2005

A realização desse ensaio segue os critérios da norma NBR 13279:2005 - Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos: determinação da Resistência à tração na flexão e à compressão.

Para o presente ensaio, foram utilizados corpos de prova com dimensões de 4cmx4cmx16cm. Inicialmente, aplica-se desmoldante nas formas. Em seguida, colocam-se duas camadas de argamassa nos moldes e para cada uma, aplica-se 30 golpes, por meio da mesa de adensamento.

A Figura 12 mostra os corpos de prova recém moldados na forma.

Figura 12 – Corpos de prova 4x4x16



Fonte: da autora, 2017

Para cada traço, foram moldados 9 corpos de prova e romperam-se 3 por idade. Adotou-se como período de cura, 7 dias, 28 dias e 56 dias. Após esse período, o teste é iniciado determinando-se a resistência à tração na flexão dos corpos de prova. Para isso, os mesmos são posicionados no dispositivo para sofrerem ruptura.

A Figura 13 mostra um dos corpos de prova sofrendo ruptura a tração.

Figura 13 – Ruptura à tração



Fonte: da autora, 2017

Após, realizou-se a o teste de resistência à tração na compressão, utilizando as duas metades dos corpos de prova do ensaio anterior.

### **3.4.2 Resistencia à compressão axial NBR 5738:2008**

O teste de resistência à compressão axial foi realizado de acordo com as especificações da NBR 5738:2008 - Concreto: Procedimento de modelagem e Cura de Corpos de Prova.

Este ensaio foi realizado com objetivo de comparação entre corpos de prova cilíndricos e prismáticos a fim de garantir o mesmo desempenho independente da forma a ser utilizada.

Inicialmente, aplicou-se desmoldante nas formas. Em seguida, foram moldados 6 corpos de prova com dimensões de 50mm de diâmetro e 100mm de altura para cada traço

A colocação da argamassa nos corpos de prova foi feita com o auxílio de uma espátula. Para cada CP, foram feitas 4 camadas aproximadamente iguais, cada uma recebeu 30 golpes de um soquete normal.

Ao final, concluiu-se a moldagem fazendo a rasura dos CP, deslizando uma régua sob as bordas, em movimentos de vaivém.

Após atingirem a idade de rompimento, os corpos de prova foram submetidos à prensa hidráulica.

As idades de rompimento adotadas foram 7 dias, 28 dias e 56 dias, sendo rompidos dois corpos de prova por idade.

Os corpos de prova moldados são apresentados nas Figura 14, e na 15, durante o rompimento.

Figura 14 – Corpos de prova 50mmx100mm



Fonte: da autora, 2017

Figura 15 – Rompimento na compressão axial



Fonte: da autora, 2017

### 3.4.3 Capilaridade NBR 15259:2005

O teste de capilaridade consiste em determinar a absorção de água através da ascensão capilar da argamassa endurecida. As especificações são feitas através da norma NBR 15259:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

Moldaram-se três corpos de prova de dimensões 4x4x16 cm, para cada traço. Conforme determinação da norma, esse ensaio deve ser realizado aos 28 dias, com tolerância de 24 horas.

Inicialmente, deve-se lixar a superfície dos corpos de prova com lixa grossa e limpá-la com pincel. Determina-se a massa inicial ( $m_c$ ) em gramas de cada corpo de prova. Os corpos de prova devem ser posicionados com a face quadrada em um recipiente com nível de água de  $(5 \pm 1)$  mm.

A Figura 16 apresenta os corpos de prova durante o ensaio.

Figura 16 – Ensaio de Capilaridade



Fonte: da autora, 2017

A massa de cada corpo deve ser determinada aos 10 minutos e aos 90 minutos.

A absorção de água por capilaridade ( $\text{g/cm}^2$ ) pode ser calculada pela Equação 4 fornecida pela norma.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (4)$$

As variáveis são:

- a)  $A_t$  = absorção de água por capilaridade, para cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo ( $\text{g/cm}^2$ );
- b)  $m_t$  = massa do corpo de prova em cada tempo, aproximada ao centésimo mais próxima (gramas);
- c)  $t$  = corresponde aos tempos de 10 minutos e 90 minutos (segundos);

- d)  $16 =$  é a área do corpo-de-prova ( $\text{cm}^2$ ).

#### **3.4.4 Ensaio de Resistência de Aderência NBR 13528:2010**

Este ensaio tem como objetivo investigar as características de aderência da argamassa REF, CCA5, CCA10, CCA15, SA5, SA10 e SA15 em substrato de tijolos cerâmicos. A norma utilizada foi a NBR 13528:2010 - Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração.

Segundo a norma, a aderência é a propriedade do revestimento de resistir as tensões atuantes na interface com o substrato. O teste foi realizado com o auxílio de um dinamômetro de tração, que possibilita aplicar uma carga de fácil manuseio e baixo peso, através de um dispositivo de leitura.

Foram construídos 7 substratos de tijolo cerâmico com 6 tijolos cada um. Os tijolos possuem dimensões de 14cm de largura, 5,5cm de altura e comprimento de 23,6cm. Não se utilizou chapisco pois o objetivo é de investigar a aderência entre o substrato cerâmico e a argamassa.

Cada substrato foi rebocado com um traço de argamassa. As paredes ficaram com dimensões de 0,50mX0,35m. A argamassa foi aplicada no substrato limpo, ou seja, sem a presença de agentes contaminantes que pudessem prejudicar a aderência. Não se utilizou chapisco, pois o objetivo é de investigar a aderência da argamassa no substrato cerâmico.

Antes da aplicação, molhou-se os substratos com água. Tomou-se o cuidado para manter a espessura do reboco em 2 cm. Para rebocá-los, utilizou-se o equipamento mostrado na Figura 17, afim de se garantir que a argamassa caísse da mesma altura e não interferisse nos resultados do ensaio.



Figura 17 – Equipamento para reboco do substrato



Fonte: da autora, 2017

A Figura 18 mostra os substratos cerâmicos com reboco.

Figura 18 – Substratos de tijolos cerâmicos com reboco



Fonte: da autora, 2017

Conforme especificações da norma, o ensaio foi realizado após 28 dias. Foram feitos cortes ortogonais a superfície, realizados com o auxílio de equipamento. Nesses cortes foram colocadas pastilhas metálicas com cola epóxi. Aplicou-se esforço excêntrico para garantir que total espalhamento da cola. Os substratos cerâmicos com os cortes ortogonais e com as pastilhas coladas podem ser vistos na Figura 19.

Figura 19 – Substrato cerâmico com os cortes ortogonais



Fonte: da autora, 2017

Para cada traço, executou-se o ensaio em 12 pontos diferentes, espaçados entre si, dos cantos e das quinas 50mm. Aplicou-se então o esforço de tração perpendicularmente ao corpo de prova, com taxa de carregamento constante, até a ruptura.

O equipamento utilizado no ensaio de arrancamento é mostrado na Figura 20.



Figura 20 – Realização do ensaio de Arrancamento



Fonte: da autora, 2017

A resistência de aderência de cada corpo de prova foi calculada pela Equação 3:

$$Ra = \frac{F}{A} \quad (3)$$

As variáveis são:

- a)  $Ra$ =resistência de aderência à tração (Mpa);
- b)  $F$ = força de ruptura (N);
- c)  $A$ =área do corpo de prova (mm<sup>2</sup>).

### 3.5 Absorção e Índice de Vazios NBR 9778:2005

O ensaio de absorção e índice de vazios foi realizado de acordo com as especificações da NBR 9778:2005 - Argamassas e Concreto Endurecidos- Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica.

Foram moldados três corpos de prova de dimensões de 50mmx100mm para cada traço. Os corpos de prova permaneceram na câmara úmida até a realização do ensaio.

Inicialmente, determinou-se a massa das amostras ao ar para, em seguida, serem colocadas em estufa durante 72 horas, quando foram novamente determinadas as massas ( $m_s$ ). Após, as amostras foram imergidas em água por outro período de 72 horas, com temperaturas na faixa de  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

Transcorrido o prazo, os corpos de prova foram submetidos a ebulição durante 5 horas, mantendo-se constante o volume de água no recipiente. Os corpos de prova durante a fervura são apresentados na Figura 21.

Figura 21 – Fervura dos corpos de prova



Fonte: da autora, 2017

As amostras esfriaram naturalmente até a temperatura  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , sendo registrada a massa dos corpos de prova com o auxílio de uma balança hidrostática ( $m_i$ ). As amostras foram retiradas, enxugadas com um pano úmido e registradas suas massas saturadas ( $m_{\text{sat}}$ ).

A absorção dos corpos de prova foi calculada pela Equação 4, índice de Vazios pela Equação 5.

$$A = \frac{ms_{sat} - ms}{ms} \times 100 \quad (4)$$

$$lv = \frac{ms_{sat} - ms}{ms_{sat} - m_i} \times 100 \quad (5)$$

As variáveis são:

- a) A= absorção;
- b) msat = massa da amostra saturada (g);
- c) ms = massa da amostra seca (g);
- d) mi = massa da amostra saturada imersa em água após a fervura (g).

## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Esse capítulo tem a finalidade de apresentar os resultados obtidos nos ensaios descritos do programa experimental desta pesquisa, quanto a caracterização mecânica de argamassa a base de cinza de casca de arroz com controle de queima e sílica ativa para reforço estrutural. Todos os resultados encontrados foram organizados com a média e o desvio padrão (representado nos gráficos como “  $\pm$  “).

### **4.1 Ensaaios no estado fresco**

#### **4.1.2 Ensaio de Consistência NBR 13276:2016**

A Tabela 8 apresenta os resultados de índice de consistência para cada argamassa. Verifica-se que com a incorporação de cinza de casca de arroz e sílica ativa diminuiu a consistência em relação ao traço REF e, com isso, a trabalhabilidade.

Tabela 8 – Resultados de consistência

<b>Argamassa</b>	<b>Consistência (mm)</b>
REF	250
CCA5	230
CCA10	230
CCA15	220
SA5	230
SA10	230
SA15	225

Fonte: da autora, 2017

Sabe-se que poderia ter utilizado um aditivo para a correção da trabalhabilidade, mas como o objetivo do trabalho é estudar o potencial uso da cinza de casca de arroz em argamassas para reforço, não se fez o uso de aditivo para que não houvesse outra variável que interferisse nos resultados.

Bezerra (2010), em trabalho sobre a incorporação de cinza de casca de arroz em argamassas de assentamento e revestimento, realizou ensaio de índice de consistência para dois traços, sendo eles 1:2:9 (cimento:cal:areia) e 1:1:6 (cimento:cal:areia), variando a relação água/cimento, conforme aumentava a porcentagens de adições nas misturas.

Nos resultados encontrados por ele, para o traço (1:1:6), mais semelhante ao utilizado no presente trabalho, com 0% de CCA, o índice de consistência foi de 247,67mm e a relação a/c 1,33; para 6% de CCA, o índice ficou em 255,67mm e a/c 1,37; para a adição de 9%, a consistência ficou em 259,27mm e a a/c em 1,40; e, com adição de 15% de CCA, a consistência ficou em 256,05mm e a relação a/c 1,43.

Analisando os índices de consistência encontrados por Bezerra (2010) no traço 1:1:6 e aqueles encontrados no presente estudo, com o traço 1:3, verifica-se que, os resultados são inversamente proporcionais, ou seja, a medida em que para ele os índices de consistência aumentam com a incorporação de matéria fina e

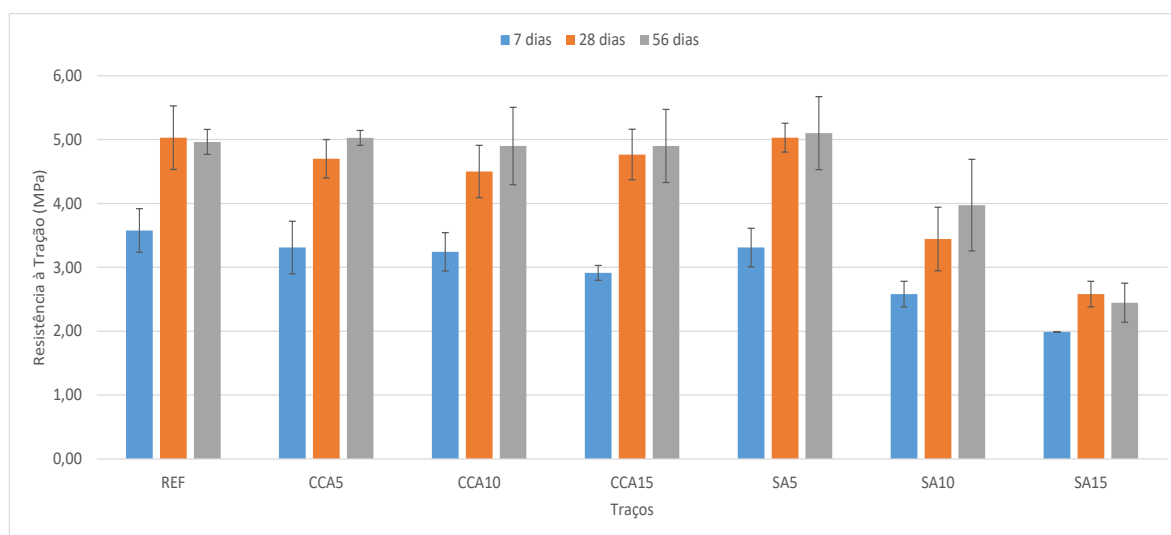
variação no teor de água, na presente pesquisa, a consistência diminuí. Acredita-se que isso ocorra em virtude de a cinza da casca de arroz ser um material que apresenta mais finos em sua composição que o cimento, razão pela qual, se não houver aumento no teor de água, a consistência tende a diminuir.

## 4.2 Ensaios no estado endurecido

### 4.2.1 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão e à Compressão NBR 13279:2005

A seguir são mostrados os resultados de Resistência à Tração na Flexão das argamassas. Os gráficos foram elaborados a partir do desvio padrão e das médias dos resultados obtidos dos 7 dias, 28 dias e 56 dias de cura. Ressalta-se que foram feitos nove corpos de prova para cada traço, sendo três por idade. O Gráfico 1 apresenta os resultados de Resistência à Tração.

Gráfico 1 – Resistência à Tração NBR 13279:2005



Fonte: da autora, 2017

Para os resultados de tração na flexão aos 7 dias, pode-se observar que dos traços que possuem pozolanas, tanto com CCA ou sílica ativa, os que apresentaram melhores resultados de Resistência na Flexão, foram os que contém adição de 5% de cinza de casca de arroz CCA5, 10% de cinza de casca de arroz CCA10 e 5% sílica ativa SA5, chegando a valores de 3Mpa e 3,5Mpa. O desvio padrão para as

resistências foi baixo, e, comparando-os com os valores encontrados para a argamassa REF, ficaram muito próximos.

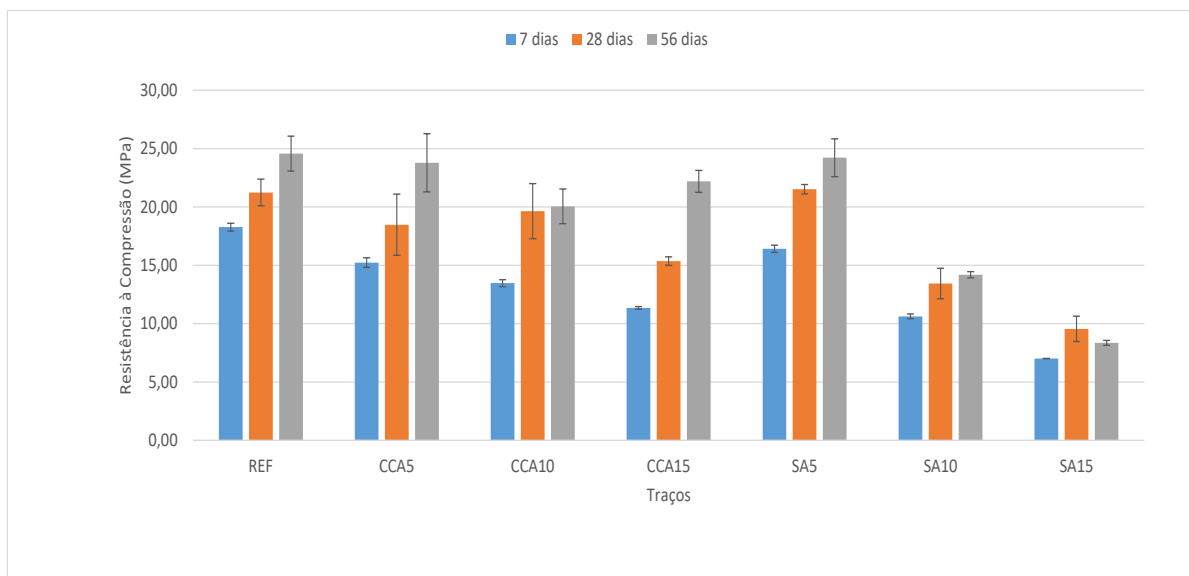
Aos 28 dias, todas as argamassas tiveram um ganho de resistência, o que ocorreu devido ao fato de que idade inicial de 7 dias, todas as reações químicas que ocorrem na mistura ainda não terem se concretizado. Nessa idade, todas as argamassas com CCA obtiveram comportamento semelhante, atingindo uma resistência à tração por volta de 4,5 MPa. Para as argamassas com sílica ativa ocorreu um comportamento diferente ao ser comparado com a CCA, a medida que aumentou o teor, diminui a resistência, obtendo como melhor traço apenas a porcentagem de 5% (SA5).

Na idade 56 dias, pode-se verificar que as resistências de todas as argamassas possuem adição, continuaram a aumentar os valores de resistência. Ao analisar os traços com adição de CCA novamente se manteve o mesmo comportamento da idade de 28 dias, ou seja, em todas as porcentagens obtiveram resultados semelhantes, ficando igual ou até um pouco acima do traço de referência. Já para as argamassas com sílica ativa o comportamento foi contrário, onde pode se perceber que o melhor resultado foi com apenas 5% de substituição.

Os dados encontrados no ensaio de resistência à flexão, com exceção ao SA5, estão em conformidade com os encontrados por Tashima (2006) que, ao analisar o desempenho mecânico de matrizes de cimento Portland com adição de cinza da casca de arroz e sílica ativa, observou que as argamassas de CCA apresentaram resistência à flexão superior as argamassas com SA.

O Gráfico 2 os resultados de Resistência à Compressão.

Gráfico 2 – Resistência à Compressão NBR 13279:2005



Fonte: da autora, 2017

No ensaio de Resistência à Compressão aos 7 dias, a argamassa CCA5 e SA5 atingiram cerca de 15MPa de resistência, destacando-se entre as demais e atingindo resultados ainda abaixo quando comparadas a argamassa REF. Nessa idade, os desvios padrão foram muito pequenos, sendo um ponto positivo para essa pesquisa.

Em todos os traços é notável o aumento de resistência com o aumento da idade e aos 28 dias, as argamassas que contém adição de cinza de casca de arroz obtiveram resultados praticamente semelhantes entre os traços CCA5 e CCA10, como é possível perceber devido à grande variabilidade do desvio-padrão. Nota-se também que o traço CCA15 obteve um menor resultados quando comparados aos demais. Para os traços com sílica ativa novamente mantém o comportamento a flexão que o traço com melhores resultados foi SA5 com 5% de substituição chegando a uma resistência à compressão de 22 MPa, valor semelhante ao traço REF.

Aos 56 dias, pode-se verificar que, as argamassas continuaram a adquirir resistência. A argamassa com adição pozolânica de 5% cinza de casca de arroz, teve resistência mecânica superior a 25Mpa, ficando na mesma faixa do desempenho mecânico da argamassa REF, que não possui nenhuma adição. Das

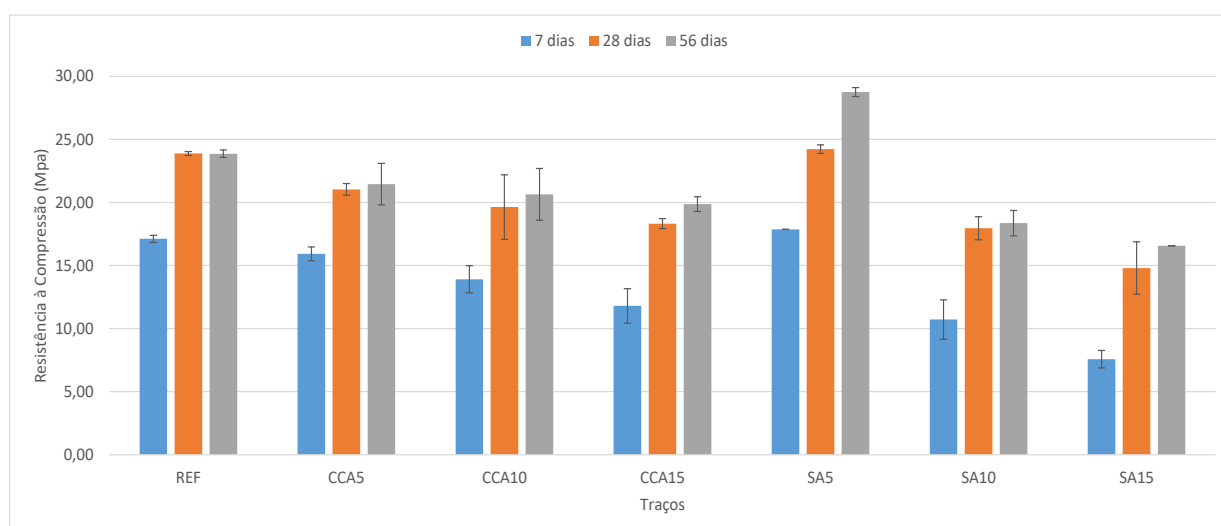


argamassas que contém adição de sílica ativa, a SA5 com 5% de sílica obteve resistências na mesma faixa dos 25MPa da argamassa CCA5 e da argamassa REF.

#### 4.2.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial NBR 5738:2008

Para outro efeito de análise dos resultados a compressão optou-se por utilizar a NBR 5738/2008. Os gráficos foram elaborados a partir do desvio padrão e das médias dos resultados obtidos dos 7 dias, 28 dias e 56 dias de cura. Lembrando que foram moldados seis corpos de prova por traço, sendo dois por idade. O Gráfico 3 apresenta os resultados de Compressão Axial.

Gráfico 3 – Resultados Compressão Axial NBR 5738:2008



Fonte: da autora, 2017

Analisando os traços que possuem adição pozolânica de cinza de casca de arroz, é possível observar que aos 7 dias, a argamassa com adição de 5% CCA5 apresentou resistências superior a 15MPa e um baixo desvio padrão e ficou muito próxima a resistência mecânica da argamassa REF. As argamassas CCA10 e CCA15 tiveram resultados bem parecidos e próximos aos 15MPa. Dentre as argamassas com adição de sílica ativa, a SA5 com 5% de sílica, apresentou as melhores resistências, já a argamassa SA10 ficou com valores inferiores a 15MPa e a argamassa SA15 com valores inferiores a 10MPa.

Aos 28 dias todas as argamassas apresentaram um acréscimo resistência. As argamassas com adição de 5%, 10% e 15% de cinza de casca de arroz atingiram resistências próximas ou superiores a 20MPa. A CCA5 e a CCA15 apresentaram um baixo desvio padrão, quando comparadas a CCA10. Para as argamassas de sílica ativa, a que se destaca novamente foi a com adição de 5% de sílica ativa SA5, que atingiu quase 25MPa. Podemos observar que, com exceção da argamassa SA5, nesse período de cura, todas apresentaram resistências inferiores a argamassa REF.

O ocorrido também foi encontrado por Souza (2008), que relaciona o fato das resistências das argamassas com adição serem inferiores a argamassa de traço REF até a idade de 28 dias, com a circunstância de que as reações pozolânicas são mais lentas, o que contribui para que as argamassas/concretos se tornem mais densos em idades mais avançadas.

Dos 28 aos 56 dias, a argamassa REF não teve mais ganho de resistência mecânica. Em contrapartida, as argamassas com adição de cinza de casca de arroz CCA5 e a CCA10 continuaram a ganhar resistência e atingiram valores próximos a 25MPa. Das argamassas com adição pozolânica de sílica ativa, a argamassa com adição de 5% SA5 foi a que continuou apresentando o melhor desempenho, atingindo quase 30 Mpa.

Tiboni (2007), na realização do ensaio de compressão axial, verificou que para adições maiores que 15% os ganhos de resistência eram menores. Verifica-se nessa pesquisa que, as menores resistências encontradas foram para as argamassas com adição de 15% de cinza de casca de arroz e 15% de sílica ativa.

No ensaio de resistência à compressão axial realizado por Bezerra (2010), houve um aumento considerável das resistências até os 63 dias. Nessa pesquisa, os maiores ganhos de resistência à compressão axial também foram na idade máxima estudada, 56 dias. Acredita-se que após esse período as resistências manteriam um ascendente, mas em menor variação. Cabe lembrar que a idade de 63 dias não foi possível de ser realizada devido ao cronograma curto para a elaboração deste estudo.

Souza (2008) monitorou o ganho de resistência de argamassas com adição de cinza de casca de arroz por um período de cura de 360 dias e verificou que houve um aumento de resistência ao longo desse período.

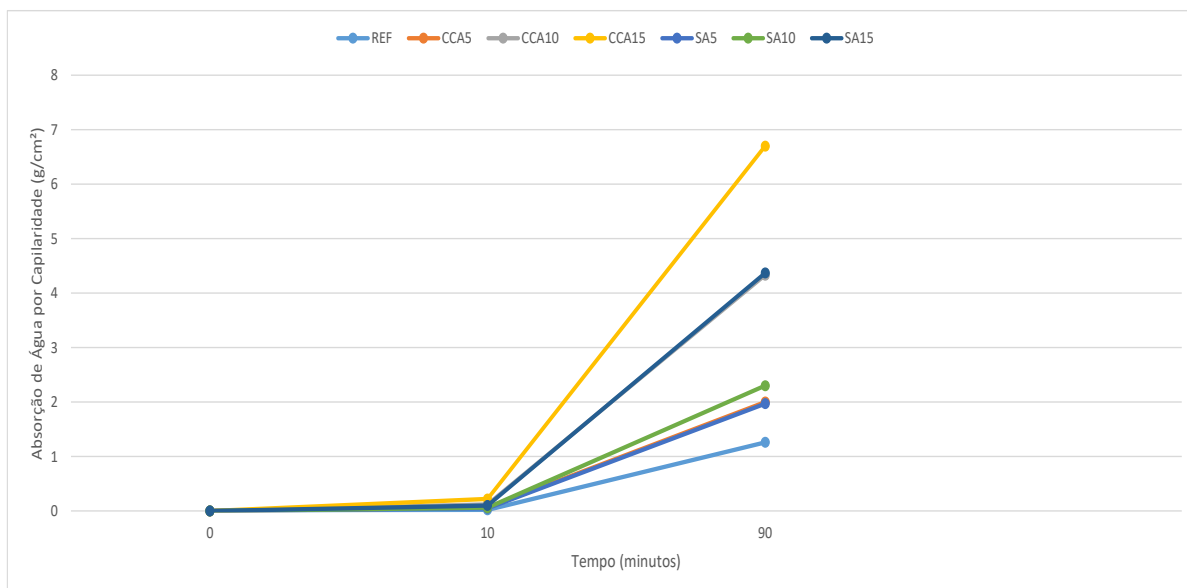
Conforme mencionado, foram realizados dois ensaios de resistência à compressão para verificar se haveria variação nos resultados encontrados, pois, conforme Neville (2010) os resultados desse tipo de ensaio, podem ser influenciados pelas dimensões dos corpos de prova, tipos de molde e pela cura. Com isso pode-se observar que para os dois métodos de ensaios os resultados ficaram muito semelhantes entre eles.

#### **4.2.3 Ensaio de Capilaridade NBR 15259:2005**

O ensaio de capilaridade foi realizado aos 28 dias em três corpos de prova para cada traço, cujas massas no tempo inicial, de 10 e de 90 minutos, assim como a absorção de água por capilaridade, nos mesmos períodos (APÊNDICE A).

As médias de absorção de água por capilaridade para cada traço são apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Resultados de Capilaridade



Fonte: da autora, 2017

Verifica-se que o aumento do percentual de adição pozolanas nas argamassas aumenta a absorção diretamente.

A partir da análise dos resultados, para o tempo de 10 minutos, a argamassa que contém adição pozolânica de cinza de casca de arroz de 5% CCA5 foi a que absorveu menor quantidade de água por capilaridade, seguida das argamassas CCA10 com adição de 10% e CCA15 com adição de 15%. Aos 90 minutos, as amostras seguiram o mesmo comportamento, havendo um aumento na absorção de água, conforme aumentou-se a porcentagens das adições. Acredita-se que este comportamento seja devido que a CCA necessita de idades mais avançadas para que a sua reação pozolânica seja realizada, sabe-se que na idade de 28 dias não ocorreram todas as reações de hidratações nas argamassas com o uso de CCA, conforme Neville (2010).

Conforme Kirchheim *et al.* (2004) a resistência é influenciada diretamente pela absorção de água por capilaridade, ou seja, quanto menos água absorvida, maior será a resistência das misturas cimentícias. Tal afirmação é corroborada pelo presente estudo, pois ao compararmos as argamassas que tiveram maior absorção de água durante o ensaio de capilaridade, com as resistências à compressão axial, observa-se que as argamassas com adição de 15% de pozolanas foram as que

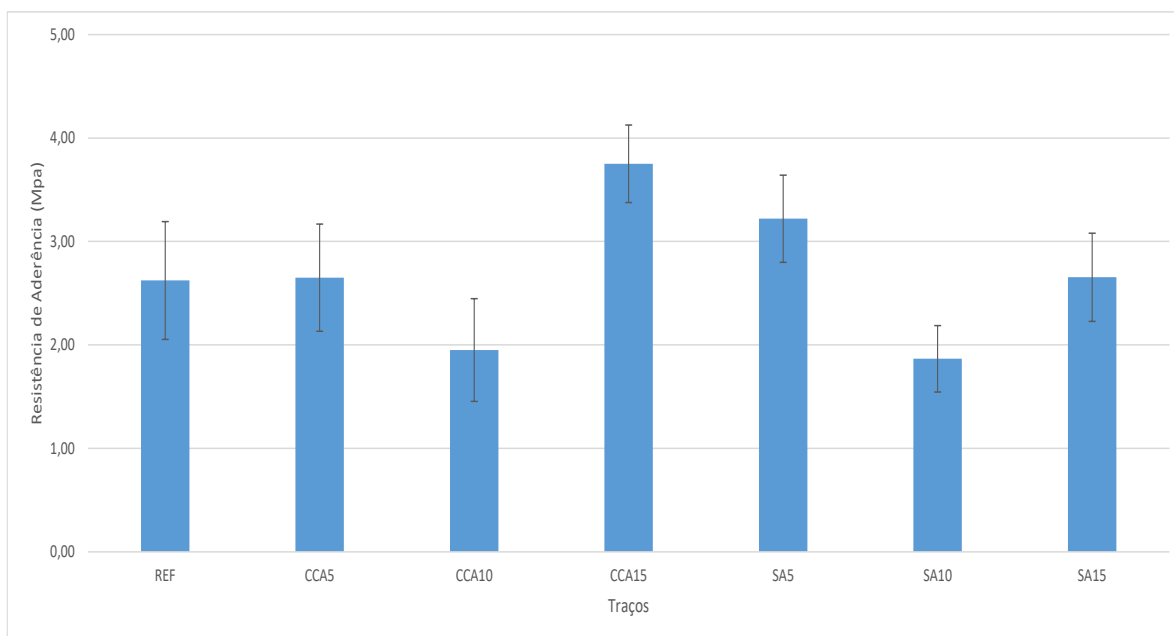
apresentaram o menor desempenho mecânico, ainda que, conforme mencionado, para essa idade nem todas as reações pozolânica se concretizaram.

Para as amostras com adições de sílica ativa, os resultados foram semelhantes, havendo um acréscimo de absorção de água por capilaridade com o aumento das adições, com o passar do tempo

#### 4.2.4 Ensaio de Arrancamento NBR 13528:2010

O ensaio da Resistência de Aderência das argamassas foi realizado nas sete placas os 28 dias (APENDICE B). Os resultados da tensão de ruptura estão apresentados em MPa e foram organizados a partir da média e do desvio padrão no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Resultados de Resistência de Aderência NBR 13528:2010



Fonte: da autora, 2017

Conforme os resultados de resistência de aderência encontrados, as placas que contém adição pozolânica de cinza de casca de arroz, observa-se que a com adição de 15% CCA15 apresentou resistência maior que a argamassa REF, atingindo mais de 4 MPa. As demais amostras apresentaram resistência similar ao traço REF.

Quanto às placas com adição de sílica ativa, a SA5 apresentou desempenho superior a argamassa REF e nas outras amostras o desempenho foi similar.

Acredita-se que durante a colagem das pastilhas nas placas, o manuseio das mesmas influenciou na secagem da cola, pois algumas descolaram com mais facilidade que outras, gerando uma maior ou menor carga de ruptura, o que poderia ter alterado as médias e o desvio padrão das resistências de aderência.

A norma Regulamentadora Brasileira NBR 13749:2013 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação, especifica limites de aderência à tração para revestimentos, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Limites estabelecidos pela NBR 13749:2013

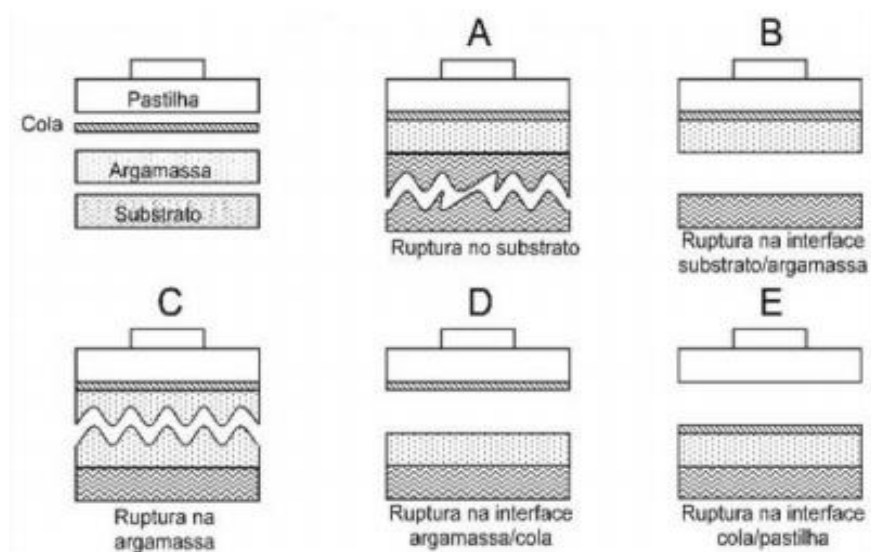
Local	Acabamento	RA (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou Base para reboco $\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado $\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou Base para reboco $\geq 0,30$
		Cerâmica $\geq 0,30$
Teto		$\geq 0,20$

Fonte: NBR 13749:2013

Com a Tabela 9 é possível observar que todas as argamassas atingiram valores superiores ao que a norma especifica, demonstrando que as argamassas estudadas podem ser utilizadas para qualquer especificação. Ao comparar com Campagnolo *et al.* (1999) que realizou um estudo de argamassas de reforços, os resultados encontrados neste estudo ficaram muito semelhantes ao encontrado pelos autores, demonstrando um potencial uso da CCA em argamassas de reforço.

As formas de ruptura da argamassa de um sistema sem chapisco durante o ensaio de aderência são mostradas na Figura 22.

Figura 22 - Formas de ruptura no ensaio de aderência a tração para um sistema de revestimento sem chapisco

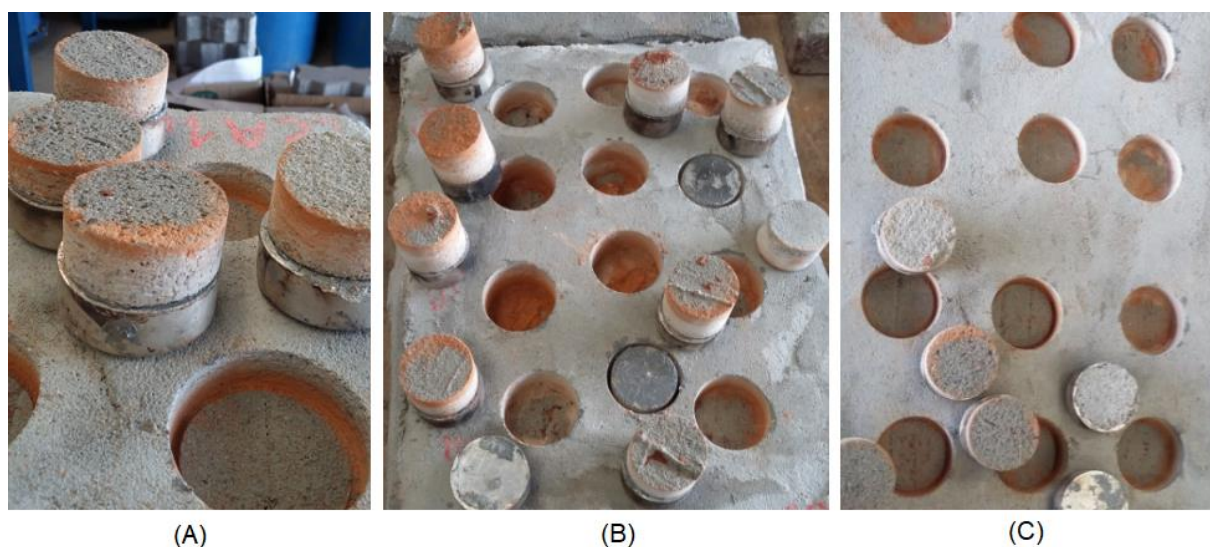


Fonte: NBR 13528: 2010

A partir da análise fotográfica das placas, fica evidente que a maior parte das argamassas rompeu na junção argamassa/substrato cerâmico, demonstrando uma boa resistência de aderência.

A Figura 23 apresenta as amostras das placas de CCA15 (A), SA5 (B) e REF(C).

Figura 23 – Amostra do ensaio de Resistência de Aderência



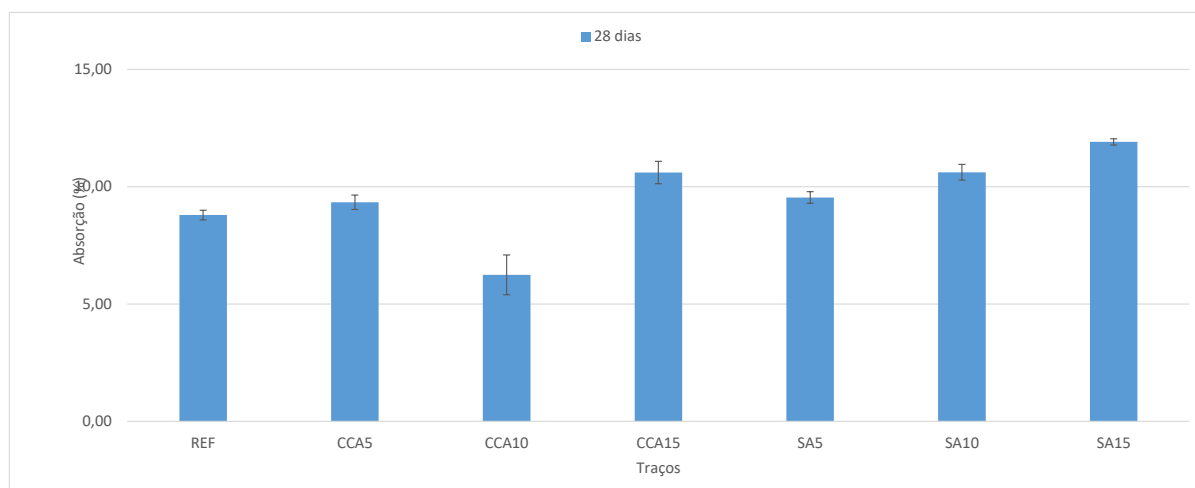
Fonte: da autora, 2017

#### 4.2.5 Ensaio de Absorção e Índice de Vazios NBR 9778:2005

Os resultados do ensaio de Absorção são apresentados no Gráfico 6 e do Índice de Vazios são apresentados no Gráfico 7. Os valores foram organizados com as médias e desvio padrão, sendo testadas três amostras para cada traço.

Para os resultados de absorção de água (Gráfico 6) pode se observar que para as argamassas com incorporação de cinza de casca de arroz, a porcentagem de 10% CCA10 absorveu a menor porcentagem de água dentre todas as amostras, inclusive a REF. Resultado contrário ao encontrado pelo ensaio de absorção por capilaridade. As outras argamassas com adição de cinza de casca de arroz de porcentagens de 5% e 15%, nessa ordem, apresentaram absorção superior a argamassa REF, que conforme Souza (2008) seja ocasionado pela elevada absorção da casca de arroz, que fica em torno de 114%.

Gráfico 6 - Resultados dos Ensaio de Absorção NBR 9778:2005



Fonte: da autora, 2017

Para as adições de sílica ativa, a SA5 com substituição de 5% de sílica ativa, teve a menor absorção de água chegando no valor de 8%, entretanto, ficou superior a argamassa REF. Esse comportamento é semelhante ao encontrado no ensaio de

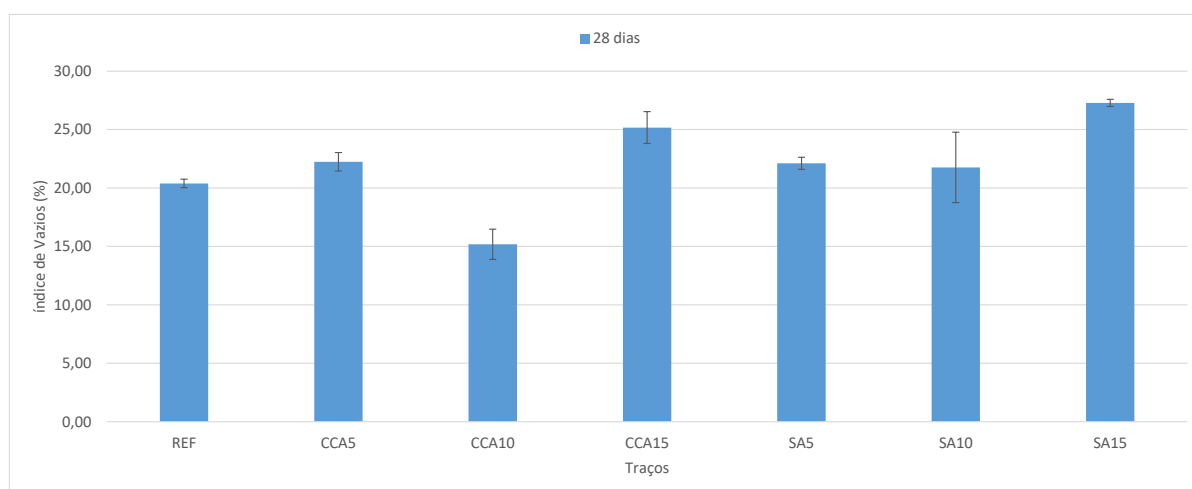


capilaridade, onde as argamassas que possuem maior adição de pozolanas absorveram maior quantidade de água.

Novamente cabe lembrar que este ensaio foi realizado aos 28 dias de idade e não ocorreram todas as hidratações necessárias com o uso de pozolanas. Souza (2008) avaliou a absorção de água de argamassas com CCA dos 28 aos 360 dias de cura e verificou ao comparar os resultados nas duas idades que, ao final do período de cura houve uma redução no percentual de absorção.

Analizando os resultados de Índice de Vazios, representados no Gráfico 7, dentre as argamassas com adição de cinza de casca de arroz, a que apresentou menor número de vazios foi a CCA10, inferior inclusive a argamassa REF, que ficou na faixa de 20%. A CCA15 obteve maior número de vazios entre as amostras com cinza de casca de arroz.

Gráfico 7 - Resultados dos ensaios de índice de Vazios NBR 9778:2005



Fonte: da autora, 2017

Para as argamassas com adição de sílica ativa, a que apresentou menor porcentagem de índice de vazios foi a SA5, entretanto, o valor encontrado foi superior a argamassa REF.

Neste ensaio, tal como no anterior, por ter sido realizado aos 28 dias, acredita-se que não ocorreram todas as hidratações necessárias com o uso de pozolanas.

## 5 CONCLUSÕES

A partir da caracterização mecânica de argamassas com substituição parcial de Cimento Portland por Cinza de Casca de Arroz e Sílica Ativa, nas proporções de 5%, 10% e 15%, de substituição em peso, e da análise dos resultados, apresentam-se as conclusões a seguir.

Quando ao índice de consistência, verificou-se que houve perda dessa característica na medida em que aumentou-se a incorporação tanto de cinza de casca de arroz, quanto de sílica ativa.

No estado endurecido, averiguou-se que, no teste de resistência à tração, para a cinza da casca de arroz, os melhores resultados foram adição de 10% e 15%, os quais foram superiores àqueles nos quais a substituição foi feita por sílica ativa, o que já era previsto.

Quanto aos ensaios de resistência à compressão, houve pequena variação de resultados conforme os ensaios realizados, o que já era esperado, pois as dimensões dos corpos de provas, os tipos de molde e a cura influenciam nas resistências. Nos testes realizados, aquele que apresentou melhores resultados foi o de compressão axial, no qual os corpos de prova possuem dimensões 50mmx100mm, tal como esperado. Em ambos os ensaios, naqueles realizados com cinza da casca de arroz, não houve alteração significativa em relação ao traço de referência. Já nos exames com sílica ativa, com exceção do traço de 5%, que apresentou resistência ligeiramente superior à referência, nos demais a resistência foi inferior.

No ensaio de capilaridade, as argamassas que obtiveram maior teor, tanto aos 10 minutos, quanto aos 90 minutos, foram as que apresentaram maior substituição de cimento por adição de casca de arroz e sílica ativa, ou seja, a CCA15 e a SA15. Estes resultados também se encontram dentro do esperado, na medida em que se acredita que a absorção por capilaridade superior dessas argamassas se deve ao fato de possuírem maior quantidade de finos em sua composição. As argamassas que tiveram menor incorporação de água por capilaridade e, conseqüentemente, melhor desempenho, foram justamente aquelas que possuem menor substituição por adição, sendo elas a CCA5 e a SA5.

No ensaio de Arrancamento, tanto nos ensaios de cinza de casca de arroz, quanto nos de sílica ativa, os desempenhos foram satisfatórios, pois a resistência de aderência ficou próxima ou superior ao traço de referência. Quanto aos desvios padrões, acredita-se que a leve disparidade se deu em razão do manuseio durante a colagem das pastilhas nas placas. A partir da análise fotográfica, verificou-se que a maior parte dos rompimentos ocorreu na junção argamassa com o substrato cerâmico, o que leva à conclusão de que a resistência das argamassas não estava inferior à dos substratos.

No ensaio de absorção e índice de vazios, com exceção da CCA10, todos traços apresentaram taxas de absorção e vazios levemente superior à argamassa de referência. Em relação à CCA10, acredita-se que a divergência deve ser melhor estudada.

Diante dos resultados obtidos durante o presente estudo, concluiu-se que a substituição parcial nas porcentagens de 5% e 10% de Cimento Portland por Cinza da Casca de Arroz é viável para a finalidade de argamassa de reforço estrutural, pois as resistências mecânicas encontradas foram levemente inferiores às aquelas encontradas por trabalhos similares, nos quais houve a incorporação de sílica ativa em argamassas de reforço estrutural, mas, ainda assim, superiores àqueles estabelecidos em norma.

Portanto, tendo em vista que a utilização de cinza da casca de arroz apresenta vantagens ambientais como a destinação de um resíduo do setor agroindustrial, com a conseqüente produção de cimento que apresenta grande

liberação de CO<sub>2</sub> principal causador do efeito estufa, bem como estando mantidas as características das misturas cimentíceas, verificou-se a possibilidade de sua utilização para essa finalidade.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP): **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, Boletim Técnico BT-106, 2002, 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13276:2016**: Argamassa para Assentamento e Revestimentos de Paredes e Tetos: determinação do Índice de Consistência. Rio de Janeiro, 2016. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13278:2005** Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos: determinação da Densidade de massa e do Teor de ar Incorporado. Rio de Janeiro, 2005. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13279:2005** Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos: determinação da Resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13528:2010** Revestimento de Paredes de Argamassas Inorgânicas: Determinação da Resistência de Aderência à Tração. Rio de Janeiro, 2010. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15900:2009**: Água Para Amassamento do Concreto. Rio de Janeiro, 2009. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5733:1991**: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738:2008** Concreto: Procedimento de modelagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2008. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7225:1993**: Materiais de Pedra e Agregados Naturais. Rio de Janeiro, 1993. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778:2009** Argamassa e Concreto Endurecidos: Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro, 2009. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9779:1995** Argamassa e Concreto Endurecidos: Determinação da Absorção de Água por Capilaridade. Rio de Janeiro, 1995. 2 p.

BEZERRA, Izabelle Marie Trindade. **Cinza da casca de arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. Disponível em: <[http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public\\_377.pdf](http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public_377.pdf)>. Acesso em 20 set. 2017.

CAMPAGNOLO, J.L. *et al.* Reforço de vigas à flexão com argamassa aditivada. Relatório de pesquisa. CPGE, UFRGS, 1996.

CORDEIRO, L. N. P. **Análise da Variação do Índice de Amorfismo da Cinza de Casca de Arroz sobre a Atividade Pozolânica**. Porto Alegre. Mestrado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2009.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. CAMPAGNOLO, João Luiz. VASKE, Nei Ricardo. **Aplicação de argamassa com adição de sílica ativa como material de reforço em elementos comprimidos de concreto argamassa**. Revista on-line Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 8, n. 3. p. 77-93, jul./set. 2008.

DELLA, V. P. **Processamento e Caracterização de Sílica Ativa Obtida a partir de Cinza de Casca de Arroz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia.). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da microestrutura do concreto com adição casca de arroz residual sem beneficiamento**. Disponível em: <[http://cascavel.ufsm.br/tede/tde\\_arquivos/20/TDE-2008-07-15T153119Z-1625/Publico/MARCELOADRIANODUART.pdf](http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/20/TDE-2008-07-15T153119Z-1625/Publico/MARCELOADRIANODUART.pdf)>. Acesso em 20 out. 2017.

ERHART, Rodrigo Lopes. **Influência do chapisco com cinza de casca de arroz na aderência de argamassa em substratos cerâmicos com diferentes porosidades**. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4234?show=full>>. Acesso em 10 nov. 2017.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural**. 2ª edição. São Paulo. Editora Pini, 2008.

INDICADORES IBGE. **Estatística da produção agrícola**. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/estProdAgr\\_201703.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201703.pdf)>. Acesso em maio de 2017.

KARIM, M.R. M.F.;JAMIL, M.;LAI,F. Significance of waste materials in sustainable concrete and sustainable development. In: 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE

ON BIOTECHNOLOGY AND ENVIROMENT MANAGMENT. **Anais...** Singapura: IACSIT Press, 2011, p. 43-47.

KIRCHHEIM, A. SOMMER L., PASSUELO, A. DAL MOLIN, D.C.C., SILVA FILHO, L.C. **Estudo da absorção capilar em argamassas de cimento Portland branco estrutural com diferentes teores de adição pozolânicas**. In: Estac. São Paulo, 2004a.

LIMA, M. S.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. de A.; NASCIMENTO, J. W.B. do; LEAL, A. F. **Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação**. Revista Escola de Minas, v.61, p.285-290, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014. 674 p.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5ª edição. São Paulo. Editora Pini, 2015.

PEREIRA, Adriana Maria.; DA SILVA. Carlos Adriano Rufino.; QUEIROZ. Daniela Cintra de Araújo.; DE MOREAS. Maria Júlia Bassan.; MELGES. José Luiz Pinheiro.; TASHIMA. Mauro Mitsuuchi.; AKASAKI. Jorge Luis.; Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. **Revista Matéria**. v.20, n.1, pp. 227– 238, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v20n1/1517-7076-rmat-20-01-00227.pdf>>. Acesso em: jun. 2017.

PRUDÊNCIO Jr. Luiz R. SANTOS. Sílvia. DÁFICO. Dario de Araújo. Cinza da casca de arroz. **Coletânea Habitare**. vol.4 Disponível em: <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/132.pdf>>. Acesso em: jun. 2017.

POUEY. Maria Tereza Fernandes. **Beneficiamento da cinza de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006, 345 f. Tese (doutorado) em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7733/000554896.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

SANTAROSA, D., CAMPOS Fº, A., BEBER, A. J., CAMPAGNOLO, J. L. Avaliação do desempenho de pilares curtos de concreto confinados com mantas flexíveis de fibra de carbono. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE O COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DANIFICADAS, 3., Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: Damstruc, 2002.

SILVA, E. J. da. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 2009.



SOUZA, Jozilene. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz**. Disponível em: <  
[http://www.prodep.cct.ufcg.edu.br/teses/Jozilene\\_S\\_2008.pdf](http://www.prodep.cct.ufcg.edu.br/teses/Jozilene_S_2008.pdf)> Acesso em 13 de nov. 2017.

SOTO, Rafael Cavalcante. **Reforço e recuperação de vigas de concreto armado**. Disponível em:<[https://www.eec.ufg.br/up/140/o/REFORÇOE\\_RECUPERAÇÃO\\_DE\\_VIGAS\\_DE\\_CONCRETO\\_ARMADO.pdf](https://www.eec.ufg.br/up/140/o/REFORÇOE_RECUPERAÇÃO_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_ARMADO.pdf)>. Acesso em 20 out.2017.

TASHIMA. Mauro Mitsuuchi. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**.Dissertação (mestrado). 2006, 81 f. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Ilha Solteira – SP. Disponível em: <  
[http://200.145.6.238/bitstream/handle/11449/91490/tashima\\_mm\\_me\\_ilha\\_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://200.145.6.238/bitstream/handle/11449/91490/tashima_mm_me_ilha_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y) > Acesso em: 5 mai. 2017.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoeletrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado. Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos/SP, 2007.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – Resultados do ensaio de Capilaridade NBR 15259:2005

<b>TRAÇO</b>	<b>m0</b>	<b>m10</b>	<b>m90</b>	<b>At 10 min</b>	<b>At 90min</b>
REF 1	512,32	513,02	514,33	0,04375	2,01
REF 2	514,21	514,43	514,92	0,01375	0,71
REF 3	513,2	513,35	514,25	0,009375	1,05
CCA5 1	527,1	528,01	529,2	0,056875	2,1
CCA5 2	514,01	514,97	516,25	0,06	2,24
CCA5 3	521,84	522,62	523,49	0,04875	1,65
CCA10 1	524,3	526,9	530,5	0,1625	6,2
CCA10 2	531,6	532,8	534,4	0,075	2,8
CCA10 3	523,2	525,1	527,2	0,11875	4
CCA15 1	522,9	525	528,3	0,13125	5,4
CCA15 2	536,6	540,3	543	0,23125	6,4
CCA15 3	517,6	522,3	525,9	0,29375	8,3
SA5 1	516,8	517,8	519,2	0,0625	2,4
SA5 2	511	512,1	513,1	0,06875	2,1
SA5 3	524,9	525,3	526,3	0,025	1,4
SA10 1	501,6	502,1	503,4	0,03125	1,8
SA10 2	507,8	509	510,4	0,075	2,6
SA10 3	492,2	493,6	494,7	0,0875	2,5
SA15 1	496,5	497,5	500,5	0,0625	4
SA15 2	486,8	489,3	492,8	0,15625	6
SA15 3	495,4	496,8	498,5	0,0875	3,1

## APÊNDICE B – Resultados do ensaio de Arrancamento NBR 13528:2010

<b>PLACA 1 - REF</b>		<b>PLACA 2 - CCA5</b>		<b>PLACA 3 - CCA10</b>		<b>PLACA 4 - CCA15</b>	
Amostra	Carga de Ruptura (N)	Amostra	Carga de Ruptura (N)	Amostra	Carga de Ruptura (N)	Amostra	Carga de Ruptura (N)
1	410	1	590	1	350	1	680
2	650	2	550	2	240	2	800
3	570	3	350	3	450	3	650
4	550	4	530	4	410	4	800
5	440	5	340	5	350	5	650
6	510	6	530	6	270	6	660
7	330	7	440	7	210	7	830
8	430	8	530	8	410	8	650
9	350	9	580	9	310	9	660
10	500	10	580	10	480	10	770
11	520	11	600	11	460	11	660
12	670	12	370	12	470	12	670

<b>PLACA 5 - SA5</b>		<b>PLACA 6 - SA10</b>		<b>PLACA 7 - SA15</b>	
Amostra	Carga de Ruptura (N)	Amostra	Carga de Ruptura (N)	Amostra	Carga de Ruptura (N)
1	720	1	390	1	540
2	570	2	350	2	580
3	540	3	310	3	670
4	660	4	300	4	470
5	520	5	480	5	550
6	590	6	310	6	530
7	520	7	300	7	530
8	550	8	280	8	440
9	680	9	310	9	420
10	740	10	410	10	420
11	650	11	380	11	450
12	540	12	400	12	400



**UNIVATES**

Rua Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil

CEP 95900-000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714-7000

[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09